



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Andres Grigor**

**AUTOKLAAVIDE JAHUTUSPROTSESSI KÄIGUS  
VABANEVA HEITSOOJUSE KASUTAMISE VÕIMALUSED  
SOOJUSPUMBAGA**

**WASTE HEAT FROM AUTOCLAVE COOLING PROCESSES  
AS AN ENERGY SOURCE FOR HEATPUMPS –  
POSSIBLE SOLUTIONS**

Magistritöö  
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: Veli Palge, *DSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Andres Grigor		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Autoklaavide jahutusprotsessi käigus vabaneva heitsoojuse kasutamise võimalused soojuspumbaga			
Lehekülgi: 84	Jooniseid: 21	Tabeleid: 19	Lisasid: 5
Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika			
4.17. Energeetikaalased uuringud			
T140 Energeetika			
Juhendaja(d): Veli Palge, DSc			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019			
<p>Euroopa Liidu toimimise lepingu üks energiapoliitika eesmärgke on taastuvate energiaallikate edendamine. Seda püütakse soodustada Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiviga (EL) 2018/2001, 11. detsember 2018. Direktiivis tõdetakse, et kütte- ja jahutussektori arvele langeb umbes pool energia lõpptarbimisest Euroopa Liidus ning seetõttu peetakse seda sektorit energiasüsteemi CO<sub>2</sub>-heite vähendamisel väga tähtsaks. Samuti leitakse, et suurem osa kütte- ja jahutussektoris suunatud energiast läheb kaduma heitsoojus- ja heitjahutusenergiana, mis eraldub tööstuslikes tehnoloogilistes protsessides.</p> <p>Käesoleva töö eesmärk on analüüsida autoklaave kasutava ettevõtte autoklaavidest eralduva heitsoojuse hulka ja pakkuda lahendusi selle utiliseerimiseks.</p> <p>Uurimus fikseeris eralduva heitsoojusenergia koguse ettevõttes ning pakub välja lahendusi heitsoojusenergia väärimdamiseks soojuspumba abil.</p> <p>Energia koguste analüüsimiseks kasutati aastatel 2018 ja 2019 ettevõtte SCADA süsteemi salvestatud andmeid. Töö aitab teadvustada tööstuses eralduva heitsoojuse koguse osakaalu ettevõtete energiasisendite maksumuses ning näitab, kui suur on potentsiaalselt utiliseeritav energia kogus ning milline on võimalik kokkuhoid. Tehtud uurimistöö tulemustele tuginedes saab tulevikus projekteerida terviklahenduse, mille alusel on võimalik ehitada töötav heitsoojusenergia utiliseerimise süsteem.</p>			
Märksõnad: heitsoojusenergia, soojuspump, CO <sub>2</sub> -heide, soojusenergia			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Andres Grigor		Curriculum: Energy Application Engineering	
Title: Waste Heat from Autoclave Cooling Processes as an Energy Source for Heatpumps – Possible Solutions			
Pages: 84	Figures: 21	Tables: 19	Appendixes: 5
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: Veli Palge, <i>DSc</i> Place and date: Tartu 2019			
<p>One of the goals of the energy policy of the Treaty on European Union is the development of renewable energy solutions. This goal is furthered by the directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018. The directive admits that about half of end-user energy consumption in the European Union is by the heating and cooling sector, which, as the goal is to lower CO<sub>2</sub> emissions in the energy sector, are crucial targets for new solutions.</p> <p>About half of the energy consumed by the heating and cooling sector is lost as waste heat and –cold in industrial processes. The goal of the given study is to analyse the possibilities of reusing waste heat in industries where autoclave cooling systems are used. The research fixates waste heat emissions within the industry and proposes possible solutions for the utilization of the waste heat with heat pumps.</p> <p>The data of the energy amounts used in the cooling is taken from the statistics stored in the SCADA system of the industry from 2018 and 2019. The research helps to understand the percentage of waste heat energy in the industries energy input costs, and how much of it could be potentially utilised and how big would be the saving. Based on the results of the study a complete solution for the reuse of waste energy can be developed in the future.</p>			
Keywords: waste heat, heat pump, CO <sub>2</sub> , heat energy, recycling			

# SISUKORD

<b>TÄHISED JA LÜHENDID .....</b>	<b>4</b>
<b>SISSEJUHATUS .....</b>	<b>6</b>
<b>1. HEITSOOJUSENERGIA ALLIKAD .....</b>	<b>9</b>
1.1. Autoklaavide tööpõhimõte .....	9
1.2. Projekt “Autoklaavide jahutusvee ja jääksoojuse taaskasutus ressursside optimeerimise eesmärgil” .....	12
1.3. Autoklaavide jahutusvee ja heitsoojuse taaskasutuse projekti kirjeldus .....	13
1.3.1. Lähteandmete ülevaade .....	13
1.3.2. Tehniline lahendus .....	16
1.4. Taaskasutusega saavutatud kokkuvõid .....	19
<b>2. SOOJUSPUMP .....</b>	<b>26</b>
2.1. Heitsoojusenergia erinevad kasutamismõimalused .....	26
2.2. Soojuspumba tööpõhimõte .....	27
<b>3. SOOJUSPUMBA KASUTAMISE MÕIMALUSED ETTEVÕTTES .....</b>	<b>29</b>
3.1 Heitsoojuse allikad .....	29
3.2. Heitsoojuse kogused .....	30
3.3. Eralduva heitsoojuse kasutamise võimalused soojuspumba abil .....	31
3.3.1. Soojusenergia kasutamise võimalused .....	31
3.4. Jahutusvee täielik taaskasutamine kinnises süsteemis .....	37
3.4.1. Soojuspumba valik .....	38
3.4.2. Jahutusveest soojuspumbaga eraldatud soojusenergia kasutamine ettevõttes .....	42
3.4.3. Soojuspumbaga autoklaavi jahutusveelt eraldatud soojusenergia müük kaugkütte võrku .....	49
3.4.4. Heitsoojuse osaline kasutamine ettevõtte tarbeks .....	54
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>58</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS .....</b>	<b>60</b>
<b>LISAD .....</b>	<b>63</b>
Lisa 1. Soojuspumba P150 tehnilised andmed. ....	64
Lisa 1. järg .....	65
Lisa 1. järg .....	66
Lisa 1. järg .....	67
Lisa 1. järg .....	68
Lisa 1. järg .....	69
Lisa 1. järg .....	70
Lisa 1. järg .....	71
Lisa 2. Sukelpumba SP 30-10 tehnilised andmed. ....	72
Lisa 2. järg .....	73
Lisa 2. järg .....	74
Lisa 3. Kuivjahuti tehnilised andmed. ....	75
Lisa 4. Soojuspumba P380 andmed. ....	76
Lisa 4. Järg. ....	77
Lisa 4. Järg. ....	78

Lisa 4. Järg. ....	79
Lisa 4. Järg. ....	80
Lisa 4. Järg. ....	81
Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	82

## TÄHISED JA LÜHENDID

$B$	– kütusekulu kg
$B'$	– kütusekulu TJ
$c$	– vedeliku erisoojus J/(kg·K)
$CH_4$	– metaan
$C_2H_6$	– etaan
$C_3H_8$	– propaan
$C_4H_{10}$	– butaan
$C_5H_{12}$	– pentaan
$CO$	– süsinikmonooksiid
$CO_2$	– süsinikdioksiid
$E$	– maagaasi kogus energiaühikutes kW·h
ENMAK 2030	– Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030
$H_s$	– maagaasi ülemine kütteväärtus kW·h/m <sup>3</sup>
$K_c$	– oksüdatsiooni koefitsient
$m$	– vedeliku mass kg
$M_c$	– süsinikuheide Gg·C
$n$	– suhtarv
$N_2$	– lämmastik gaas
$p$	– rõhk
$Q$	– soojushulk J
$q_c$	– süsiniku eriheide tC/TJ
$q_{cmaagaas}$	– maagaasi süsiniku eriheide tC/TJ
$Q_{maagaas}$	– maagaasi kütteväärtus standardtingimustel MJ/m <sup>3</sup>
$Q'_i$	– kütuse alumine kütteväärtus MJ/kg
$t_1$	– lõpptemperatuur °C
$t_2$	– algtemperatuur °C
$UV$	– ultraviolettkiirgus
$V$	– ruumala m <sup>3</sup>
$V_m$	– maagaasi kogus m <sup>3</sup>

$T$	– gaasi temperatuur leppetingimustel K
$\rho_{maagaas}$	– maagaasi tihedus standardtingimustel kg/m <sup>3</sup>
2T	– kahesuunaline reguleerimise ventiil

## SISSEJUHATUS

Tänapäeva energiasektori märksõnadeks on kasvuhoonegaaside tekke vähendamine, CO<sub>2</sub>-heite vähendamine, üha suurenev surve taastuvenergiaallikate kasutuselevõtuks, loobumine fossiilse päritoluga energiaallikatest. 2017 aastal on Riigikogu otsusega määratud Eesti kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Põhiline otsusega seatud eesmärk on 2050 aastaks tagada Eestis konkurentsivõimeline vähese süsinikuheitega majandus. Pikaajaline siht on vähendada kasvuhoonegaaside heidet 2050 aastaks ligi 80 protsenti võrreldes 1990 aasta heite tasemega [1]. Sama on deklareeritud ka 15. detsembril avaldatud Euroopa Komisjoni pressiteates, kus on seatud eesmärgiks vähendada CO<sub>2</sub>-heidet aastaks 2050. üle 80%, mis tähendab, et Euroopa energiatootmine peab olema peaaegu CO<sub>2</sub>-vaba [2]. Vastavalt Euroopa Liidu toimimise lepingu (ELi toimimise leping) artikli 194 lõikele 1 on taastuvate energiaallikate edendamine üks liidu energiapoliitika eesmärke. Selle eesmärgi saavutamist püütakse soodustada Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiviga (EL) 2018/2001, 11. detsember 2018, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta.

*„Taastuvatest energiaallikatest saadud energia ehk taastuvenergia ulatuslikum kasutamine moodustab tähtsa osa meetmepaketist, mis on ette nähtud kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks ning Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsiooni osaliste konverentsi 21. istungjärgu tulemusel sõlmitud 2015. aasta Pariisi kliimakokkuleppes („Pariisi kokkulepe“) liidule võetud kohustuse täitmiseks ja selleks, et viia ellu liidu kliima- ja energiaraamistik 2030, sealhulgas liidu siduv eesmärk vähendada 2030. aastaks heitkoguseid vähemalt 40 % võrreldes 1990. aasta tasemega“* [2].

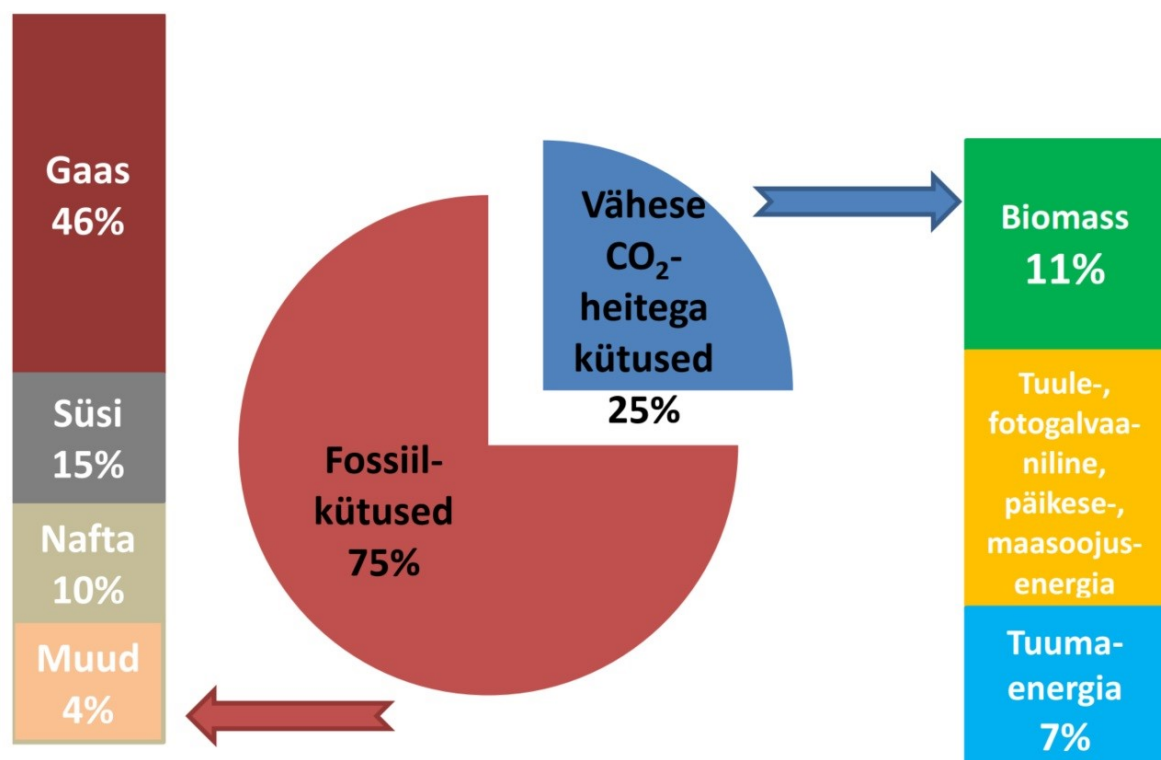
Samuti tõdetakse eelpool mainitud direktiivis, et kütte- ja jahutussektori arvele langeb umbes pool energia lõpptarbimisest Euroopa Liidus ning seda sektorit peetakse energiasüsteemi CO<sub>2</sub>-heite vähendamisel väga tähtsaks.



Nagu öeldud, liidus toodetud energiast pool kulub küttele ja jahutusele, kuid suurem osa sellest energiast läheb kaduma heitsoojus- ja heitjahutusenergiana, mis eraldub tööstuslikes tehnoloogilistes protsessides.

*„Heitsoojus- ja heitjahutusenergia“ – tööstus- või energiakäitistes või kolmanda sektori poolt kõrvalsaadusena toodetud vältimatu soojus- või jahutusenergia, mis jääks ilma juurdepääsuta kaugkütte- või kaugjahutussüsteemile kasutamata ja hajuks õhku või vette, kui on kasutatud või kasutatakse koostootmisprotsessi või juhul, kui koostootmine ei ole võimalik“ [3].*

Ja ehkki kütte- ja jahutussektor liigub keskkonnasõbraliku vähese CO<sub>2</sub>-heitega energeetiliste protsesside suunas, pärineb 75% sektori kasutatavatest kütustest ikka veel fossiilsetest allikatest (peaaegu poole nendest moodustab maagaas) [3].



**Joonis 1.1** Kütteks ja jahutuseks kasutatud primaarenergia, 2012 [3].

Eesti tootmisettevõtetes kasutatakse tootmise protsesside lahutamatu osana kas toodete või materjalide kuumutamist ning peale kuumutamise lõppu nende jahutamist. Näidetena võib tuua toiduainetetööstust, kus pakendatud valmistoodang läbib enne tarbijale saatmist kuumtöötluste autoklaavides, või farmaatsiatööstust, kus eeskätt klaastarat kuumutatakse

enne toodete pakendamist. Loetletud juhtudel on kuumutamise eesmärk toode või materjal steriliseerida. „Steriliseerimine – toiduainet kuumutatakse 30 minutit kuni 2 tundi temperatuuril 105...140 °C, rõhul 1,0...1,5 atü õhukindlalt suletud katlas – autoklaavis.“ [4]

Käesolev magistritöö keskendub heitsoojusenergia kasutamise võimalustele ettevõtetes, kus kasutatakse autoklaave ning nende jahutamisel eralduv soojusenergia liigitub heitsoojuse alla ehk tinglikult „visatakse“ see soojusenergia pärast jahutusprotsessi ilma mingi edasise kasutusega minema.

Töö eesmärk on eeltöö uuritavale ettevõttele heitsoojusenergia kasutuselevõtu lahenduse pakkumiseks. Tehtud uurimistöö tulemustele tuginedes saab tulevikus projekteerida terviklahenduse, mille alusel on võimalik ehitada töötav heitsoojusenergia kasutamise süsteem.

Töös uuritakse, millised on võimalused kasutada soojuspumbaga autoklaavide heitsoojusenergiat, kuhu ja kuidas kasutada soojuspumba töö käigus eralduvat jahutus- ja soojusenergiat. Töö käigus uuritakse tegutsevat ettevõtet, kus aastas jääb kasutamata heitsoojusenergiat üle 9000 GJ. Uuritakse, millised on soojuspumba tööga kaasnevad kulud ja võimalik saavutatav kokkuhoid ning eeldatav projekti tasuvusaeg. Seda kõike vaadatakse erinevate soojuspumba kasutamise võimaluste näitel.

# 1. HEITSOOJUSENERGIA ALLIKAD

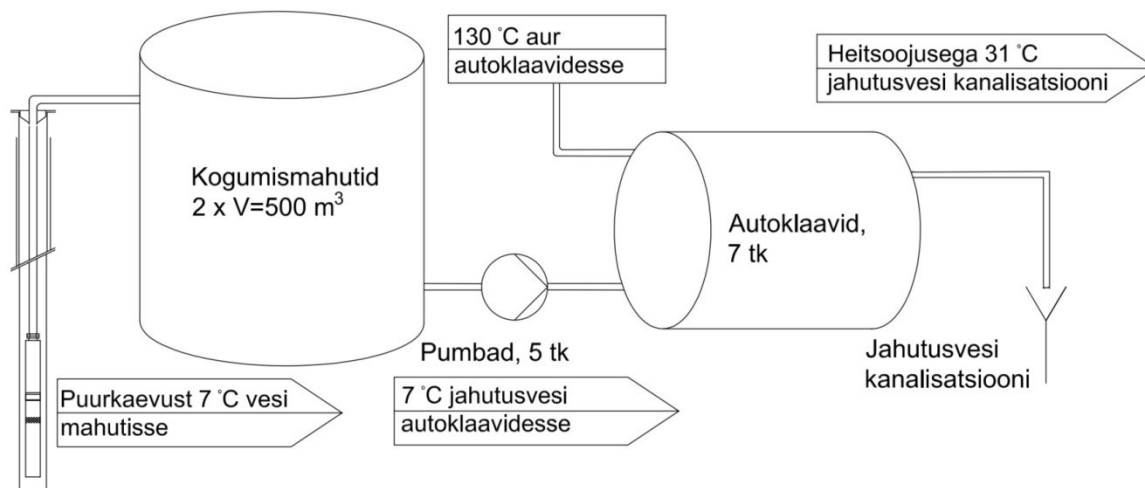
## 1.1. Autoklaavide tööpõhimõte

Eesti Keele Instituudi „Eesti keele seletav sõnaraamat“ annab autoklaavi definitsiooniks: „õhukindlalt suletav (silindriline) anum v. kamber mitmesuguste protsesside teostamiseks kuumuses ja atmosfäärirõhust kõrgemal rõhul“ [5].

Uuritavas ettevõttes on kasutusel ettevõtte Steriflow autoklaavid, mida on praeguseks paigaldatud tehasesse 7 tk. Iga autoklaavi ruumala on 5300 L ning üks autoklaav mahutab 4 toodete jaoks mõeldud konteinerit. Lihtsustatult on autoklaavi tööpõhimõte järgmine: autoklaav täidetakse termilist kuumtöötlemist nõudva toodanguga, seejärel suletakse autoklaavi uks hermeetiliselt, autoklaav täidetakse osaliselt eelnevalt töödeldud veega koguses 3,75 m<sup>3</sup> ning seadme komplektis olev pump hakkab autoklaavi kambrisse lisatud vett tsirkuleerivalt pumpama läbi soojusvaheti, mida omakorda soojendatakse auruga. 130 °C aur võimaldab väga kiiresti tõsta autoklaavi paigutatud toodete temperatuuri soovitud tasemele ning sealt edasi hoitakse toodet muutumatul temperatuuril vastavalt toote soojendamise retseptis ettenähtud ajale. Nii autoklaavi soojendamise kiirus kui lõpptemperatuur, millel toodet hoitakse, on iga toote retsepti lõikes erinev.

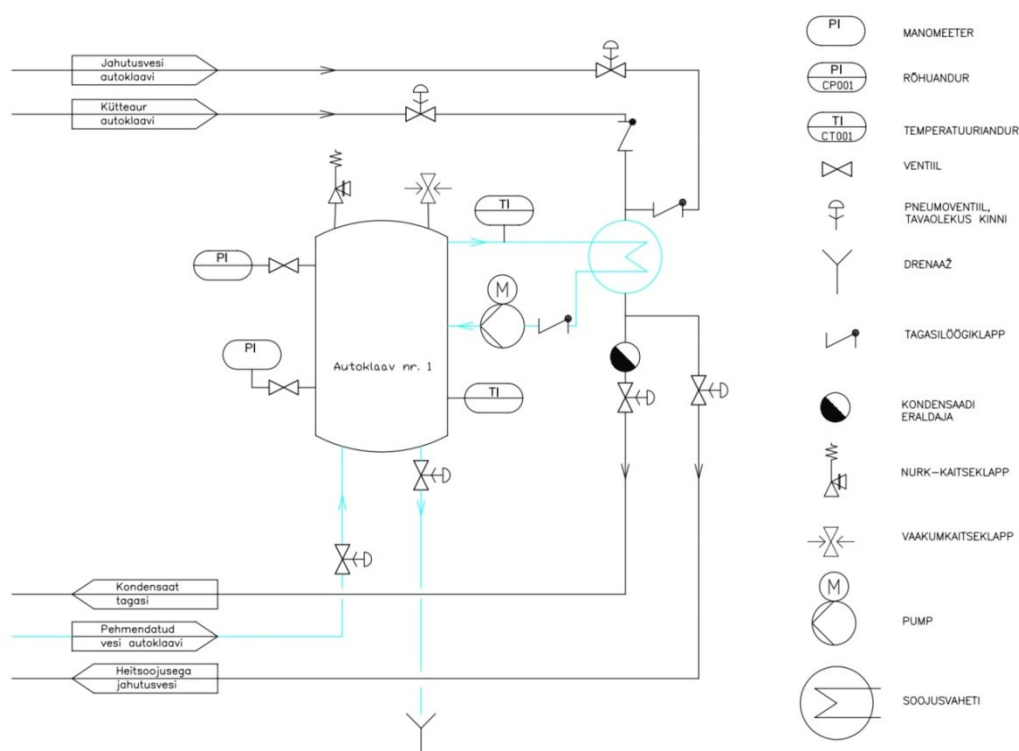
Samamoodi nagu soojendamise protsessis, on iga toote lõikes erinev aeg, millal tuleb toode jahutada vastavalt retseptile. Jahutamiseks kasutatakse külma vett temperatuuriga 7 °C, mis jahutamise käigus läbib sama soojusvaheti, mida on eelnevalt kuumutatud auruga. See tähendab, et autoklaave läbiv jahutusvesi ei puutu protsessi käigus kokku mitte millegi muuga, kui ainult soojusvaheti pinnaga, mida on eelnevalt läbinud 130 °C aur. Kuna autoklaavid täidetakse enne tehnoloogilise protsessi algust sisemise ringlusveega, siis on välistatud isegi toote taara võimalikul purunemisel selle kokkupuude jahutusveega, seega on jahutusvesi puhas ning jätkuvalt joogivee kvaliteediga ka peale jahutuse protsessi lõppu.

Aastani 2016 suunati kogu jahutusprotsessi käigus autoklaave läbinud ning seega heitsoojust sisaldav jahutusvesi 100% kanalisatsiooni. Joonisel 1.2 on esitatud autoklaavide jahutusvee liikumise teekond puurkaevust kanalisatsiooni.



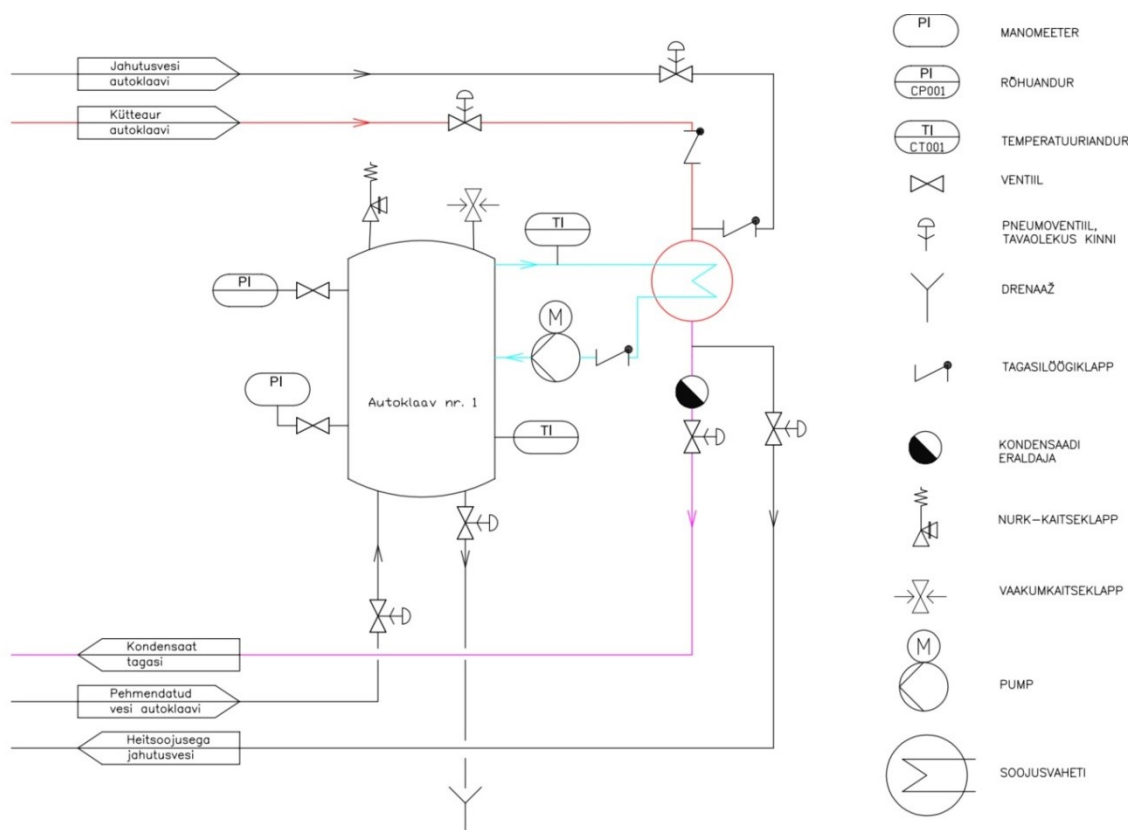
**Joonis 1.2.** Jahutusvee teekond puurkaevust mahutitesse, mahutitest autoklaavide jahutamise protsessi ning sealt koos heitsoojusega kanalisatsiooni.

Joonisel 1.3 on esitatud autoklaavide veega täitmise funktsionaalne skeem, kus helesinise värviga on tähistatud autoklaavide pehmendatud veega täitmine ning protsessi lõppedes nende tühjendamine. Samuti on helesinise värviga tähistatud autoklaavi sisemine vee tsirkulatsiooniring, mille abil soojendatakse ning jahutatakse autoklaavi paigaldatud tooteid.



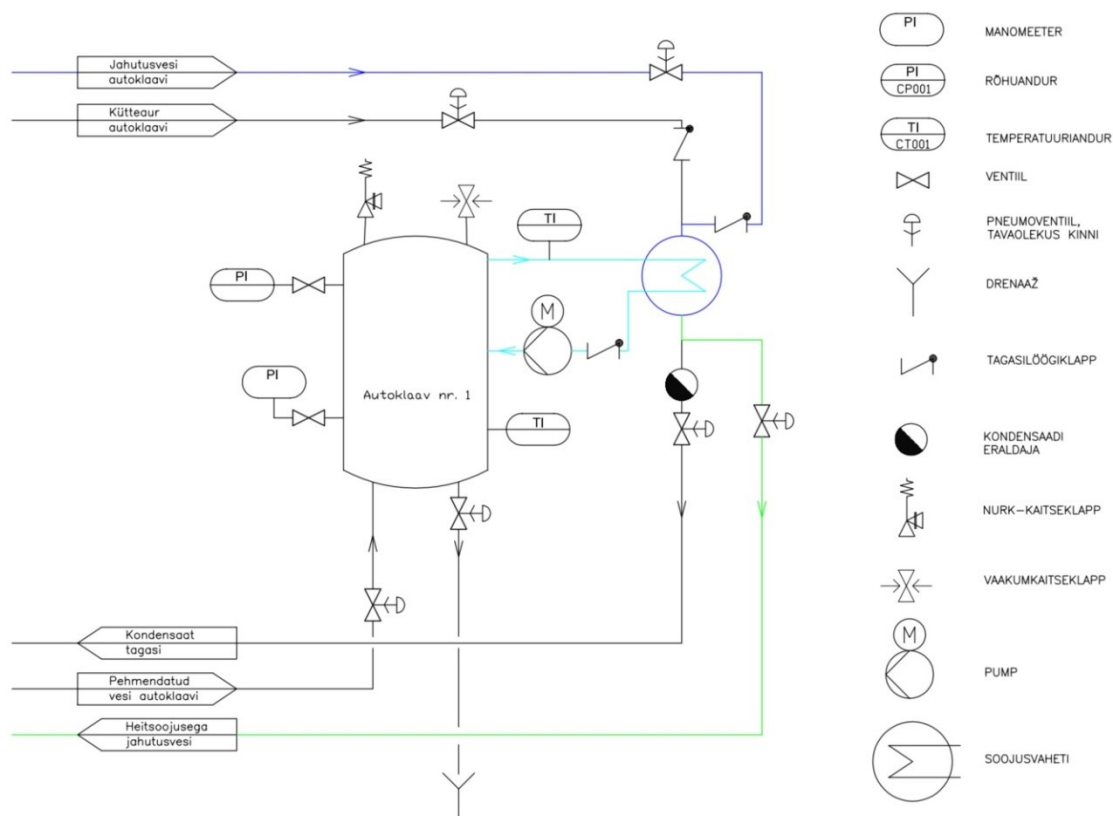
**Joonis 1.3.** Autoklaavi pehmendatud veega täitmise funktsionaalne skeem.

Joonisel 1.4 on esitatud autoklaavi auruga soojendamise funktsionaalne skeem. Punase värviga on tähistatud autoklaavi soojendamiseks kasutatav aur, lilla värviga auru jahtumisel tekkiv ja katlamajja tagasi suunatav kondensaad ning helesinise värviga autoklaavi sisemine veeringlus läbi soojusvaheti, mille abil soojendatakse autoklaavis olevaid tooteid. Soojendamise protsessile järgneb autoklaavi paigaldatud toodete veega jahutamine soovitud kiirusega soovitud temperatuurini.



**Joonis 1.4.** Autoklaavi soojendamise funktsionaalne skeem.

Joonisel 1.5 on esitatud autoklaavi jahutamise funktsionaalne skeem ning heitsoojusega jahutusvee teekond läbi süsteemi. Külma 7 °C jahutusvesi, mis on joonisel tähistatud tumesinise värviga.



**Joonis 1.5.** Autoklaavi jahutamise funktsionaalne skeem.

Kogu soojusvahetist väljuv ja heitsoojust sisaldav jahutusvesi suunatakse edasi otse kanalisatsiooni, joonisel tähistatud rohelise värviga.

## 1.2. Projekt “Autoklaavide jahutusvee ja jääksoojuse taaskasutus ressursside optimeerimise eesmärgil”

Tulenevalt märkimisväärsest kulust jahutusvee kanalisatsiooni suunamisel ning samuti eesmärgist vähendada põhjavee tarbimist ja otsida kasutust jahutuse käigus saadud heitsoojust sisaldavale jahutusveele, otsustas ettevõtte juhtkond 2016. aastal viia läbi projekti nimega “Autoklaavide jahutusvee ja jääksoojuse taaskasutus ressursside optimeerimise eesmärgil”. Projekti rahastamiseks esitati taotlus Keskkonnainvesteeringute Keskusele, kus omakorda otsustati projekti rahastada Keskkonnaprogammi (KP) raames [6]. Projekti hange kuulutati välja 2016. aastal suvel ning projekti hakati ellu viima samal aastal. Projekti maksumuseks kujunes ligi 60 000 eurot ning projekt käivitati novembris 2016.

### **1.3. Autoklaavide jahutusvee ja heitsoojuse taaskasutuse projekti kirjeldus**

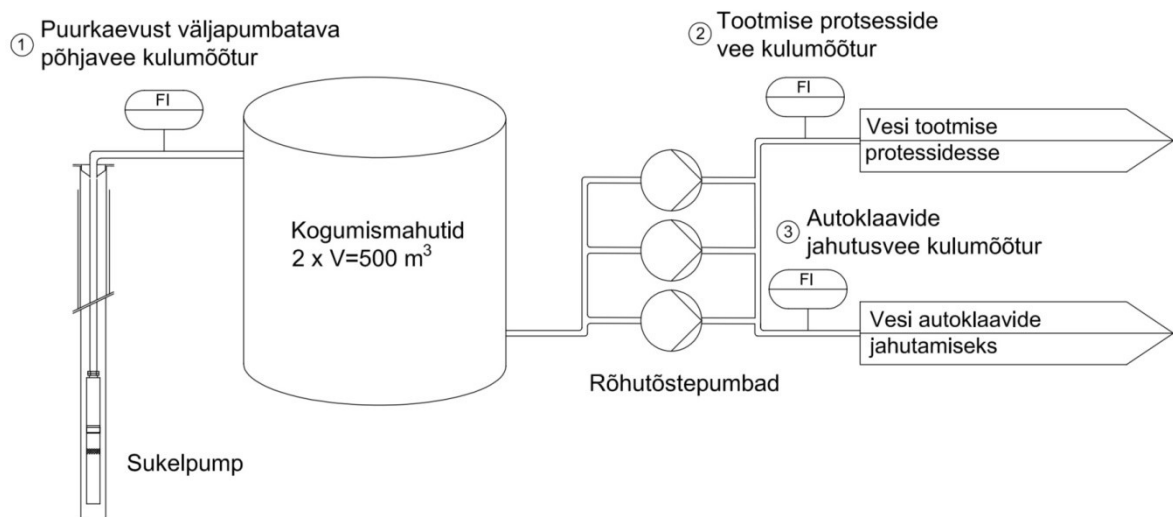
#### **1.3.1. Lähteandmete ülevaade**

Ettevõtte kasutab tootmises autoklaavide jahutusvee vajaduse katmiseks tehase territooriumil paiknevat puurkaevu. Puurkaevust pumbatakse vesi kahte suurde kogumismahutisse, kumbki ruumalaga  $V=500\text{ m}^3$ . Sealt edasi pumbatakse osa veest vastavalt vajadusele survetõste pumpadega autoklaavide jahutamise protsessi. Läbinud autoklaavides jahutustsükli, suunatakse heitsoojust sisaldav jahutusvesi edasi Tartu linna üldisesse kanalisatsioonisüsteemi. Kuna jahutusvee kogused on suured, siis vastavalt sellele on arvestatavad ka kulutused kasutatud jahutusvee kanalisatsiooni suunamisel.

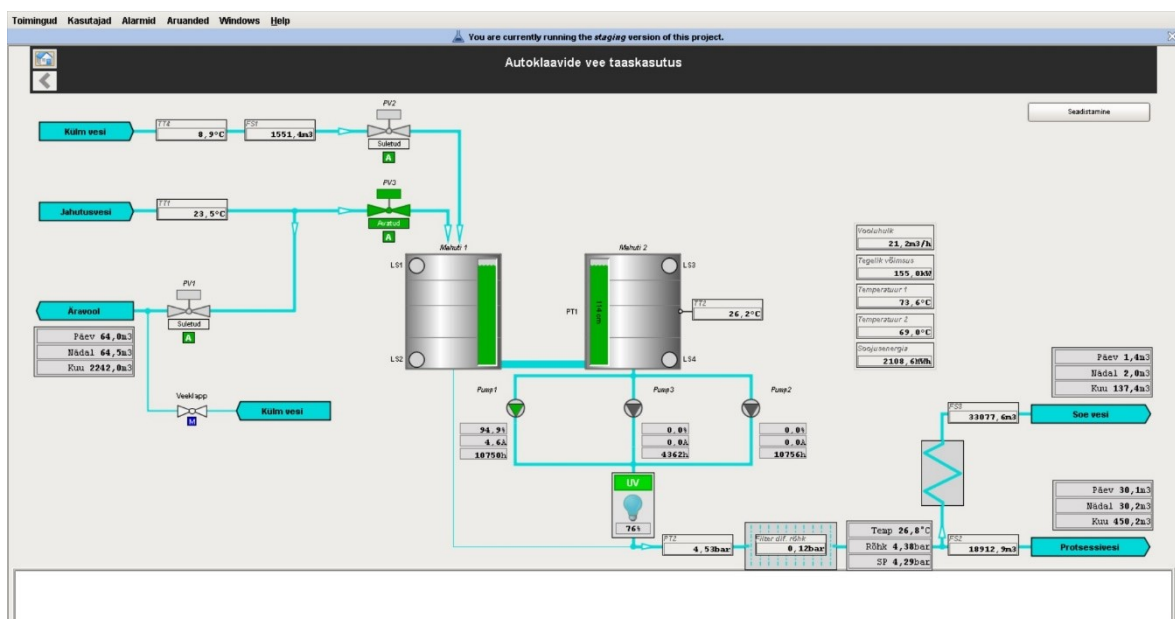
Ettevõtte veevarustuse süsteem on üles ehitatud selliselt, et erinevates tootmise protsessides kasutatavaid veekoguseid on võimalik väga täpselt mõõta. Kogu külmavee varustus saab alguse ettevõtte omandisse kuuluvast puurkaevust, millest välja pumbatav vesi läbib enne kogumismahutitesse suunamist puurkaevust väljuvale torustikule paigaldatud veemõõduri, joonisel 1.5 tähistatud numbriga 1. Seega on pidevalt jälgitav puurkaevust välja pumbatava vee kogus ning veemõõduri näitude alusel tasutakse vee erikasutuse eest vastavalt vee erikasutusõiguse tasumäärale. Samuti arvutatakse veemõõduri näitude alusel kanalisatsiooni suunatava ning Tartu Veevärk AS poolt maksustatava vee kogus.

Kogumismahutitest rõhutõste pumpadega välja pumbatav vesi suunatakse kahte torustikku, millest üks varustab veega ettevõtte tootmisprotsesse ning teine torustik varustab veega ainult autoklaavide jahutamise protsessi. Mõlemad torustikud on varustatud oma veekulumõõduritega ja nii on igal ajahetkel olemas täpne ülevaade mõlemasse torustikku suunatud veekogusest. Joonisel 1.6 on numbriga 2 tähistatud tootmise protsesside veemõõdur, numbriga 3 on tähistatud autoklaavide jahutusvee kulumõõdur. Kulumõõduritega mõõdetud andmed edastatakse ettevõtte SCADA süsteemi, kus need salvestatakse ning arhiveeritakse. See võimaldab salvestatud andmetele igal ajal ligi pääseda ning neid analüüsida. SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) - on

arvutisüsteemide ja sidevõrkude abil toimuv tehniliste protsesside jälgimine ja juhtimine [7]. Joonisel 1.7 on esitatud taaskasutuse süsteemi olukorda kujutav SCADA ekraanipilt.



**Joonis 1.6.** Veemõõturite paiknemise tehnoloogiline skeem.



**Joonis 1.7.** Autoklaavide jahutusvee taaskasutamise süsteemi SCADA ekraanipilt.



Autoklaavide jahutusvee kasutamise mõõtmise tulemused:

- perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 oli kasutatud jahutusvee kogus kogu perioodi kohta kokku 89 693 m<sup>3</sup> ja päevas keskmiselt 326 m<sup>3</sup>;
- keskmine jahutusvee temperatuur pärast autoklaavidest väljumist oli 31 °C.

Soojuse kogust, mis tuleb kehale soojendamiseks anda või mille annab keha jahtudes ära, nimetatakse soojushulgaks [8]. Soojushulk on leitav alljärgneva valemiga (1.1) [8].

$$Q = m \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (1.1)$$

kus  $Q$  on soojushulk J;

$m$  – vedeliku mass kg;

$c$  – vedeliku erisoojus J/(kg·K);

$t_1$  – algtemperatuur °C;

$t_2$  – lõpptemperatuur °C.

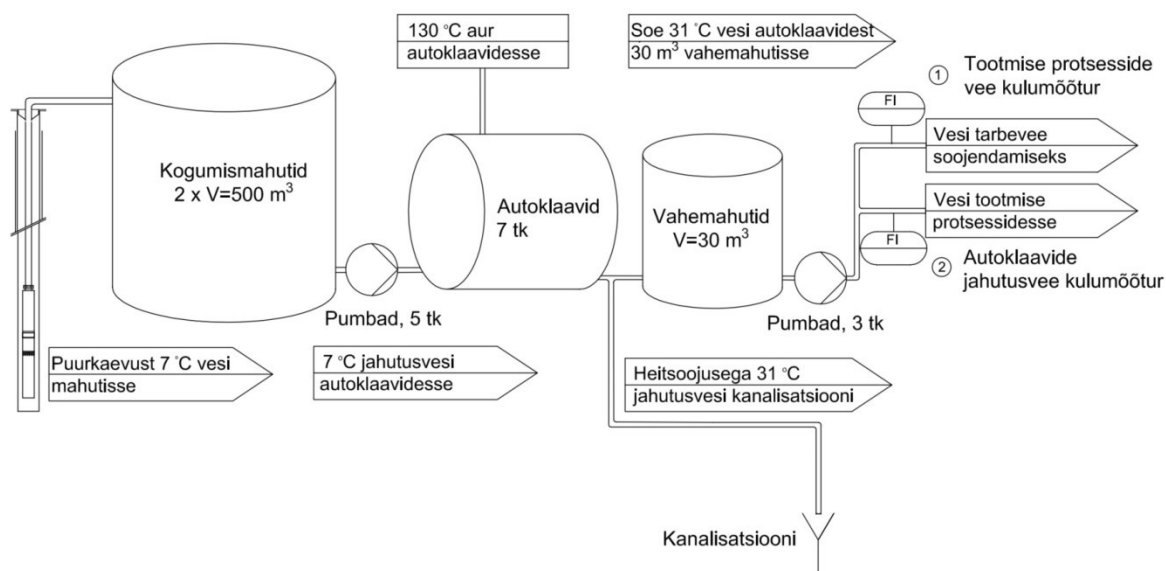
Mõõtmistulemustest on teada, et autoklaavidesse siseneva jahutusvee keskmine temperatuur on 7 °C, väljuva jahutusvee keskmine temperatuur on 31 °C. Teades jahutusvee alg- ja lõpptemperatuure ning kasutatud veekogust, saab välja arvutada kanalisatsiooni suunatud jahutusvees sisalduva heitsoojuse energia kogused. Kasutades selleks valemit (1.1), on vastavad andmed kantud tabelisse 1.1.

**Tabel 1.1.** Kuude lõikes kasutatud jahutusvee kogused ja selles sisalduva soojusenergia arvutus tulemused perioodil 1.03.2018 kuni 28.02.2019

Kuu	Kasutatud jahutusvesi m <sup>3</sup>	Vees sisalduv energia GJ
Märts	5958	599
Aprill	7302	734
Mai	8609	866
Juuni	95	10
Juuli	13 115	1319
August	12 875	1295
September	8690	874
Oktoober	7595	764
November	7659	770
Detsember	4609	464
Jaanuar	6575	661
Veebruar	6603	664
<b>Kokku:</b>	<b>89 693</b>	<b>9020</b>

### 1.3.2. Tehniline lahendus

Arvestades, et jahutamise protsessi käigus saadavad jahutusvee kogused on ebaühtlased ning sõltuvad nii autoklaavide töötamise kellaajast kui ka toodetavast tootest, siis on autoklaavidest tuleva jahutusvee kogumiseks keldrikorrusele paigaldatud paralleelselt kaks jahutusvee kogumismahutit, kumbki mahutavusega  $15\text{ m}^3$ . Mahutid on omavahel ühendatud nii, et jahutusvesi siseneb esimesse mahutisse mahuti otsast, liigub mahuti lõppu ning sealt läbi teise mahuti selle lõppu. Sellise isevoolse liikumise tagamiseks on mahutid paigaldatud erinevatele kõrgustele ning omakorda 3-kraadise nurga alla. Mahutitesse kogutud vesi pumbatakse edasi 3 sagedusmuunduritega varustatud rõhutõste pumbaga. Pumbad töötavad konstantse rõhugraafiku alusel ning hoiavad vastavalt tarbimise muutustele rõhku väljuvas torustikus konstantsena. Joonisel 1.8 on esitatud taaskasutussüsteemi tehnoloogiline skeem. Sarnaselt puurkaevust pumbatava vee koguste mõõtmisele toimub ka taaskasutussüsteemist väljapumbatava vee koguste pidev mõõtmine ning salvestamine ettevõtte SCADA süsteemi. Joonisel 1.8 on numbriga 1 tähistatud sooja tarbevee kulumõõtur ning numbriga 2 on tähistatud tootmise protsesside vee kulumõõtur.



**Joonisel 1.8.** Autoklaavide jahutusvee taaskasutussüsteemi tehnoloogiline skeem.

Kasutatud ja heitsoojust sisaldavale jahutusveele on praegu leitud kaks kasutusk kohta: üks osa veest suunatakse otse mahutitest tootmisesse pesuveena. Seda kasutatakse näiteks siseneva tooraine pesemiseks, seadmete ja põrandate pesuks. Teine osa veest suunatakse edasi sooja tarbevee soojusvahetisse igapäevase tarbevee soojendamiseks.

Joonisel 1.9 on esitatud foto jahutusvee taaskasutuse süsteemi mahutitest ning rõhutõstepumpade grupist.

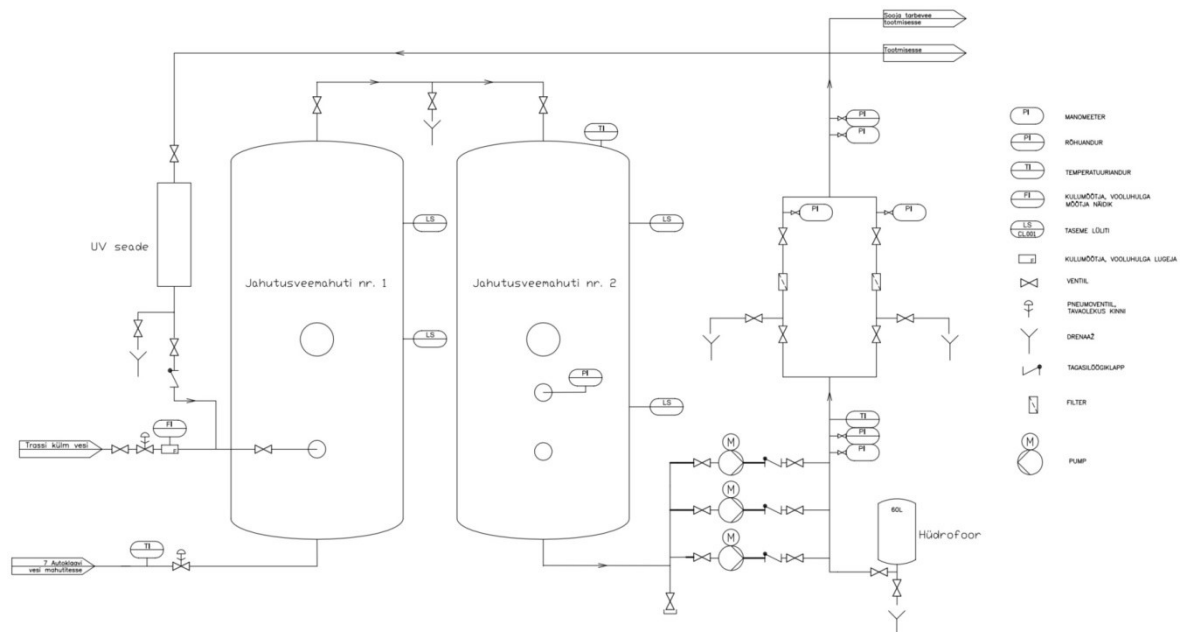


**Joonis 1.9.** Autoklaavide jahutusvee taaskasutuse süsteem.

Autoklaave ei hakata kasutama kohe tööpäeva alguses – selleks et autoklaavidesse oleks kuumtöötamiseks paigutada toodangut, tuleb see esmalt ette valmistada, millest tulenevalt võib hommikuti esineda olukordi, mil mahutitest on sinna eelmisel tööpäeval kogunenud jahutusvesi lõppemas ning uut jahutusvett ei ole veel tootmise alguse tõttu autoklaavidest juurde tulnud. Kuna kogu vajalik vesi tarbevee soojendamiseks ning samuti vesi tootmise pesuprotsessideks saadakse ainult nendest kahest mahutist, siis peab nendes olema pidevalt tagatud minimaalne nõutav veetase. Et seda tagada, on mahutid varustatud täiteventiiliga, mis avaneb automaatselt etteantud minimaalsel veetasemel ning võimaldab täita mahuteid külma puurkaevust pumbatava veega.

Lisaks jahutusvee kasutamise ebaühtlusele on ebaühtlane ka jahutusvee juurdetulek autoklaavidest. Et vältida tööpäeva käigus mahutite ületäitmist, siis on mahutitesse suunatud jahutusvee torustik varustatud automaatselt töötavate pöördklappidega. Juhul kui kogutud jahutusvee tase mahutites ületab eelnevalt seadistatud kriitilise piiri, suletakse

automaatselt mahutite täitetorustikul asuv ventiil ning avatakse ventiil, mis võimaldab jahutusvee suunata otse kanalisatsiooni, nagu seda tehti enne vee taaskasutussüsteemi ehitamist. Joonisel 1.10 on esitatud taaskasutussüsteemi funktsionaalne skeem.



**Joonis 1.10.** Autoklaavide jahutusvee taaskasutuse süsteemi funktsionaalne skeem.

Nädalavahetustel ja pühadel tehas seisab ning seega puudub kogumismahutitesse jahutusvee juurdevool, mis tähendab, et sisuliselt jääb vesi seisma. See omakorda tähendab, et keldris asuvas kahes mahutis, kokku ruumalaga  $V=30 \text{ m}^3$  on seisev vesi, mille keskmine temperatuur on  $31^\circ\text{C}$ . Internetis leiduva Eesti Maaülikooli õppeaine VL.1168 Toidu- ja tootmishügieen õppematerjali andmetel on enamikul bakteritest paljunemiseks optimaalne temperatuur  $8\text{--}65^\circ\text{C}$ , ning parim temperatuur enamiku toidumürgistusi põhjustavate bakterite kasvuks on  $37^\circ\text{C}$  ja suure kiirusega saavad nad paljuneda temperatuurivahemikus  $20\text{--}50^\circ\text{C}$  [9]. Kuigi puurkaevu vett ning ka mahutites olevat vett jälgitakse pidevalt mikrobioloogia seisukohalt, siis ennetamaks võimalust, et näiteks õhu kaudu satub mingi ebasoovitav bakter mahutites olevasse vette ja hakkab sealses soojas vees paljunema, on kasutusel ultravioletvalgusega lamp kui desinfitseerimise vahend. USA tootja Trojan Technologies kodulehelt väljavõte: „Erinevalt vee desinfitseerimise keemilistest lähenemisviisidest tagab UV-kiirgus mikroorganismide kiire ja tõhusa inaktiveerimise füüsilise protsessi kaudu. Kui bakterid, viirused ja algloomad puutuvad kokku UV-kiirguse bakteritsiidse lainepikkusega, ei ole nad enam suutelised paljunema ega ümbritsevat nakatama [10]. Et antud rakenduses puutuks vesi kokku UV-lambi poolt

kiiratava ultraviolettkiirgusega, peab vesi pidevalt ringlema läbi UV-seadme. Selleks on süsteemi ehitatud eraldi väikese vooluhulgaga ( $0,00083 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ringlus, mis töötab režiimis 24/7. UV-seade koos kontrolloriga on esitatud joonisel 1.111.



**Joonis 1.11.** UV-lamp (roostevaba silinder) koos kontrolloriga (must karp seinal).

#### 1.4. Taaskasutusega saavutatud kokkuvõid

Ajaperioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019. aastal läbis autoklaave termilise töötamise käigus jahutusveena kokku  $89\,693 \text{ m}^3$  vett, mis tabelis 1.1 esitatud arvutuste järgi sisaldas eneses soojusenergiat 9020 GJ. Kogu perioodi jooksul jahutamiseks välja pumbatud puurkaevu veest taaskasutati tootmisesse mineva pesu- ja protsessiveena ära  $10\,422 \text{ m}^3$  vett ning kasutades arvutusvalemit (1.1) saame selles vees sisalduvaks soojusenergia hulgaks:

$$Q = 10\,422\,000 \cdot 4190 \cdot (31 - 7) = 1,048 \cdot 10^{12} \text{ J} \sim 1048 \text{ GJ}$$

Kasutatud pesu- ja protsessivee soojusenergia sisaldus on 1048 GJ. Tarbevee soojendamiseks kasutati heitsoojusega vett kokku  $14\,271 \text{ m}^3$  ning selles vees sisalduv soojusenergia kogus on arvutatav valemiga (1.1):

$$Q = 14\,271\,000 \cdot 4190 \cdot (31 - 7) = 1,435 \cdot 10^{12} \text{ J} \sim 1435,1 \text{ GJ}$$

Tarbevee soojendamiseks kasutatud vee soojusenergia sisaldus on 435 GJ. Seega suunati perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 kanalisatsiooni vett kokku 64 859 m<sup>3</sup> ning säästeti taaskasutamise käigus 24 834 m<sup>3</sup> vett. Ajaperioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 kasutatud jahutusvee kogused ning jahutusvees sisalduvad soojusenergia kogused on esitatud vastavalt tabelites 1.2 ja 1.3.

Tabelites 1.2 esitatud mõõtmiste andmed on mõõdetud veekulumõõturite poolt, mis on näidatud joonisel 1.7. Mõõtmiste andmed on salvestatud ettevõtte SCADA süsteemi ning on sealt kättesaadavad komaga eraldatud väärtuste vormingus (CSV) failina.

**Tabel 1.2.** Perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 taaskasutatud ning kanalisatsiooni suunatud veekogused

Periood	Tootmisesse suunatud vesi, m <sup>3</sup>	Tarbevee soojendamiseks kasutatud vesi, m <sup>3</sup>	Taaskasutatud vesi kokku, m <sup>3</sup>	Kanalisatsiooni suunatud vesi, m <sup>3</sup>
01.03.2018–31.03.2018	763	1246	2009	3950
01.04.2018–30.04.2018	627	1234	1861	5441
01.05.2018–31.05.2018	311	1380	1691	6918
01.06.2018–30.06.2018	30	65	95	5
01.07.2018–31.07.2018	1531	1003	2534	10 581
01.08.2018–31.08.2018	1568	928	2496	10 379
01.09.2018–30.09.2018	934	1063	1997	6693
01.10.2018–31.10.2018	981	1949	2930	4666
01.11.2018–30.11.2018	1139	1461	2600	5059
01.12.2018–31.12.2018	722	1023	1745	2864
01.01.2019–31.01.2019	920	1331	2251	4325
01.02.2019–28.02.2019	898	1727	2625	3978
<b>Kokku:</b>	<b>10 424</b>	<b>14 410</b>	<b>24 834</b>	<b>64 859</b>

Tabelis 1.3. on esitatud perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 jahutamiseks ja taaskasutamisse suunatud veekogustes sisalduvad soojusenergia kogused. Arvutatud energiakoguste leidmiseks on kasutatud tabelis 1.2 esitatud vooluhulkasid ning soojushulga

arvutamise valem (1.1). Soojushulga arvutuste aluseks on mõõdetud vee tarbimise andmed erinevates mõõtepunktides ning taaskasutussüsteemist väljuvale torustikule paigaldatud temperatuuri anduri poolt mõõdetud ning ettevõtte SCADA süsteemi salvestatud jahutusvee keskmine temperatuur.

**Tabel 1.3.** Perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 tarbevee soojendamiseks ja taaskasutamisesse suunatud jahutusvees sisalduvad soojusenergia koguste arvutuste tulemused

Periood	Tootmisesse suunatud vees soojusenergiat GJ	Tarbevee soojendamiseks kasutatud vees soojusenergiat GJ	Kokku taaskasutatud vees soojusenergiat GJ	Kanaliseerimisele suunatud vees soojusenergiat GJ
01.03.2018–31.03.2018	76	123	199	391
01.04.2018–30.04.2018	62	122	184	539
01.05.2018–31.05.2018	31	137	168	686
01.06.2018–30.06.2018	3	6	9	0
01.07.2018–31.07.2018	152	99	251	1049
01.08.2018–31.08.2018	155	92	247	1029
01.09.2018–30.09.2018	93	105	198	663
01.10.2018–31.10.2018	97	193	290	462
01.11.2018–30.11.2018	113	145	258	501
01.12.2018–31.12.2018	72	101	173	284
01.01.2019–31.01.2019	91	132	223	429
01.02.2019–28.02.2019	89	171	260	394
<b>Kokku</b>	<b>1033</b>	<b>1428</b>	<b>2461</b>	<b>6427</b>

Arvestades, et puurkaevust saadava külma vee keskmine temperatuur on 7 °C ning vajalik sooja tarbevee temperatuur on 55 °C, siis vastavalt valemile (1.1) on 1 m<sup>3</sup> sooja tarbevee soojendamiseks vajalik energiakogus 0,2 GJ, ehk kogu vaadeldava aastase perioodi kohta oleks see energiakogus olnud 2828 GJ. Kuid kuna eelnevalt kogutud soojusenergiat sisaldava jahutusvee temperatuur on kõrgem kui puurkaevu veel, olles keskmiselt 31 °C,

siis tegelik vajalik energiakogus  $14\,271\text{ m}^3$  sooja tarbevee temperatuuri tõstmiseks soovitud  $55\text{ °C}$  on kaks korda väiksem –  $1414\text{ GJ}$  ning annab seega märkimisväärse kokkuhoiu soojusenergia saamiseks kasutatava maagaasi kulus.

Eelnevalt on valemiga (1.1) välja arvatatud vajalik energia, mida on vaja  $14\,271\text{ m}^3$  külma,  $7\text{ °C}$  vee tõstmiseks soovitud temperatuurini  $55\text{ °C}$ , on  $2870\text{ GJ}$ . Valemiga (1.2) [11] saab välja arvutada selleks vajaliku maagaasi koguse.

$$E = H_s \cdot V_m = V_m = \frac{E}{H_s} = \frac{797\,273}{9,2} = 86\,660\text{ m}^3, \quad (1.2)$$

kus  $E$  on maagaasi kogus energiaühikutes  $\text{kW}\cdot\text{h}$ ;

$H_s$  – maagaasi ülemine kütteväärtus ( $\geq 35,27\text{ MJ/m}^3$  [12])  $\text{kW}\cdot\text{h/m}^3$ ,

$V_m$  – maagaasi kogus  $\text{m}^3$ .

Valemiga (1.2) leitud maagaasi kogus sooja tarbevee temperatuuri tõstmiseks  $48\text{ K}$  võrra ehk algtemperatuurilt  $7\text{ °C}$  lõpp temperatuurini  $55\text{ °C}$ , see on  $86\,660\text{ m}^3$ . Arvutuses ei ole arvestatud soojusenergia kadudega torustikus transpordil katlamajast soojusvahetisse. Valemis (1.2) ning ka kõikides töös edaspidi kasutatud arvutustes on maagaasi kütteväärtusena kasutatud alumist kütteväärtus, mis on  $33\text{ MJ/m}^3$ . Sõltuvalt torustike soojustamisel kasutatud isolatsioonimaterjali paksusest ja tööde teostamise kvaliteedist ning torustiku pikkusest võivad soojusenergia kaod torustikus olla kuni  $15\%$ . Selle sätestab majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus „Soojuse müügi ajutise hinna kehtestamise kord“, vastu võetud 22.06.2011 [13].

Kui aga on vaja  $14\,271\text{ m}^3$  sooja tarbevee temperatuuri tõsta  $24\text{ K}$  võrra ehk  $31\text{ °C}$  algtemperatuurilt  $55\text{ °C}$ -ni, siis on valemiga (1.1) arvatatud energia kogus:

$$Q = 14\,271 \cdot 4190 \cdot (55 - 31) = 1435091760\text{ J} \sim 1,44\text{ GJ}$$

Eelnevalt leitud soojusenergia saamiseks vajalik maagaasi kogus on arvutatav valemiga (1.2):

$$V_m = \frac{400\,000}{9,16} = 43\,668\text{ m}^3$$

$14\,271\text{ m}^3$  soojendamiseks  $24\text{ K}$  võrra on vajalik energia kogus  $1,44\text{ GJ}$  ning vajalik maagaasi kogus on  $43\,668\text{ m}^3$ . Samuti ei ole siin arvutuses arvestatud kadudega



soojusenergia transpordil katlamajast hoone kütteks kasutatava soojasõlme soojusvahetisse.

Välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutusliku määramise meetodid on reguleeritud Eesti Vabariigi määrusega: Välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutusliku määramise meetodid. Vastu võetud 27.12.2016 nr 86. RT I, 29.12.2016, 63 jõustumine 1.01.2017. Redaktsiooni jõustumine 11.03.2019 [14].

Viidatud määruhes esitatud metoodikaga saab arvutada maagaasi põletamisel eralduva süsinikdioksiidi heitekoguse. Selleks tuleb kütusekulu arvutada ümber teradžaulidesse (TJ), kasutades määruse lisas 1 esitatud energiaühikute ümberarvutuse vahetordi ja järgmist valemit (1.3) [14].

$$B^1 = B \cdot Q_i^r \cdot n, \quad (1.3)$$

kus  $B^1$  on ümberarvutatud kütusekulu TJ;

$B$  – kütusekulu kg;

$Q_i^r$  – kütuse alumine kütteväärtus MJ/kg;

$n$  – suhtarv viidatud määruse lisast 1.

Viidatud määruhes esitatud valemiga (1.3) saab arvutada süsiniku eriheite (tC/TJ), kus maagaasi iseloomustavate näitajatena kasutatakse selle koostist (gaaside CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, CO<sub>2</sub>, CO mahu %), kütteväärtust (kJ/m<sup>3</sup>, MJ/m<sup>3</sup>) ja tihedust (kg/m<sup>3</sup>) standardtingimustel (T=293,15 K, p=101,3 kPa). Eestis kasutatava maagaasi koostis protsentides on esitatud tabelis 1.4.

**Tabel 1.4.** Eestis kasutatav maagaasi koostis protsentides [15]

Metaan CH <sub>4</sub>	Etaan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Propaan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Butaan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Pentaan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Süsihappe- gaas CO <sub>2</sub>	Lämmastik N <sub>2</sub>
98	0,67	0,2	0,07	0,02	0,03	0,95

$$q_{cmaagaas} = 10 \cdot (0,749 \cdot \text{CH}_4 + 0,799 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 0,817 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 0,827 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + 0,832 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12} + 0,273 \cdot \text{CO}_2 + 0,429 \cdot \text{CO}) / Q_{rmaagaas}, \quad (1.4)$$

kus  $q_{cmaagaas}$  on maagaasi süsiniku eriheide tC/TJ;

$$Q_{rmaagaas} = Q_{maagaas} / \rho_{maagaas} \text{ MJ/kg},$$

kus

$Q_{maagaas}$  on maagaasi kütteväärtus standardtingimustel ( $T=293,15\text{ K}$ ,  $p=101,3\text{ kPa}$ )  $\text{MJ/m}^3$ ;

$\rho_{maagaas}$  – maagaasi tihedus standardtingimustel ( $T=293,15\text{ K}$ ,  $p=101,3\text{ kPa}$ ),  $\text{kg/m}^3$ .

Valemiga (1.4) arvatud süsiniku eriheide  $q_c$  on  $15,3\text{ tC/TJ}$ .

Kasutades valemitega (1.3) ja (1.4) arvatud väärtuseid ning viidatud määruse lisas 3 esitatud energeetikas eralduva  $\text{CO}_2$ -heite arvutamise näidet, saab arvutada maagaasi põletamisel eralduva tegeliku süsinikuheite. Näide on avaldatav valemiga (1.5).

$$M_c = 10^{-3} \cdot B^I \cdot q_c \cdot K_c, \quad (1.5)$$

kus  $M_c$  on süsinikuheide  $\text{Gg}\cdot\text{C}$ ;

$B^I$  – kütusekulu  $\text{TJ}$ ;

$q_c$  – süsiniku eriheide  $\text{tC/TJ}$ ;

$K_c$  – oksüdatsiooni koefitsient 1.

Kasutades valemit (1.5) ning võttes aluseks, et  $7\text{ }^\circ\text{C}$  ja  $14\,271\text{ m}^3$  veekoguse soojendamiseks temperatuurini  $55\text{ }^\circ\text{C}$  vajalik maagaasi kogus on  $86\,975\text{ m}^3$ , siis eralduva süsinikuheite kogus on  $161\text{ t}$ . Kasutades aga sama koguse sooja tarbevee soojendamiseks  $31\text{ }^\circ\text{C}$  algtemperatuuriga vett, on valemi (1.5) alusel arvatud süsinikuheide  $80,4\text{ t}$ . See tähendab  $\text{CO}_2$ -heite vähenemist  $80$  tonni võrra.

Ettevõtte vähenenud kulutused, mida on võimalik mõõta rahas.

- Tartu Veevõrk AS kodulehel on avaldatud tasu suurus heitvee ärajuhtimise eest. Ettevõtte heitvesi kuulub I gruppi, millel  $1\text{ m}^3$  heitvee ärajuhtimise tasu on  $1,080\text{ €}$  + käibemaks [16]. Perioodil 1.03.2018–28.02.2019 suunati kanalisatsiooni jahutusvett  $24\,834\text{ m}^3$  vähem ehk  $64\,859\text{ m}^3$ , kui ilma taaskasutuse lahenduseta. Otsene rahaline kokkuvõtte  $24\,834\text{ m}^3$  korda  $1,080\text{ €} = 26\,820,72\text{ €}$  + käibemaks.
- Keskkonnatasude seadusest tulenevalt [17] on  $1000\text{ m}^3$  põhjavee kasutamise erikasutusõiguse tasu ettevõtte jaoks  $84,68\text{ €}$ . Perioodil 1.03.2018–28.02.2019 suunati kanalisatsiooni jahutusvett  $24\,834\text{ m}^3$  vähem kui ilma taaskasutuse lahenduseta. Otsene rahaline kokkuvõtte  $2102,94\text{ €}$ .
- Puurkaevu paigaldatud sukelpumba Grundfos SP 30–10 elektrienergia tarve pumba nimitööpunktis  $Q=29,9\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=76,34\text{ m}$  on  $0,3459\text{ kW}\cdot\text{h/m}^3$ . Vastava pumba

graafik on esitatud lisas 2. Ettevõtte jaoks 1 MW·h elektrienergia hind koos võrgutasudega on 103,1 € + käibemaks. Perioodil 1.03.2018–28.02.2019 pumbati puurkaevust vett välja 24 834 m<sup>3</sup> võrra vähem. Otsene rahaline kokkuvõtte 885,64 € + käibemaks.

- Energiakulu tarbevee soojendamiseks vähenes perioodi vältel 1414 GJ võrra, kuna 55 °C tarbevee soojendamiseks tuleb vee temperatuuri tõsta ainult 24 K võrra (vee algsoojus 31 °C, soovitud lõpptemperatuur 55 °C). Kokkuhoitud maagaasi kogus on 43 668 m<sup>3</sup> ning otsene rahaline kokkuvõtte on 14 410 € + käibemaks.
- Vähenenud süsinikdioksiidi heide 80 t võrra tähendab kokkuvõtte saastetasudes. Keskkonnatasude seaduses on sätestatud, et süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) saastetasu määr tonni kohta on 2 € [18]. Seega süsinikdioksiidi heitelt on olnud kokkuvõtte 160 €.

Kokkuvõttes võimaldab rajatud taaskasutussüsteem ettevõtte säästa aastas 44 379,30 € + käibemaks.

## 2. SOOJUSPUMP

### 2.1. Heitsoojusenergia erinevad kasutamisevõimalused

Tööstuses eraldub heitsoojust väga erinevatest allikatest, näiteks erinevatest kompressoritega varustatud jahutusseadmetest – seda teemat on oma 2016. aasta bakalaureusetöös „AS Nõo Lihatööstuse jahutusseadmete heitsoojuse kasutus“ käsitlenud Tauno Meier [19]. Samuti eraldub märkimisväärselt heitsoojust erinevatest tööstusprotsessidest – kuumutusahjudest, kuivatitest, autoklaavidest, pesuseadmetest ja pesuprotsessidest (CIP ja SIP pesulahendused), sundväljatõmbega ventilatsioonisüsteemidest, toiduainetööstuses erinevates pastöriseerimisprotsessidest. Soojus- ja elektrienergia saamise käigus eraldub palju kasutamata heitsoojust katelde suitsugaasidest, aurukatelde heitaurust, samuti leidub seda katelde põhjaläbipuhke käigus kanaliseeritavas vees. Internetiportaali Delfi lisas Moodne Kodu on 10. oktoobril 2017 aastal kirjutanud Meelis Voolmaa MTÜ-st Eesti Energiasäästu Assotsiatsioon, et kanalisatsiooni kaob 1/3 korterelamu soojaarvest [20]. Kahjuks ei õnnestu leida analoogseid andmeid tööstuses eralduva ja reoveega kanalisatsiooni saadetava energia koguste kohta.

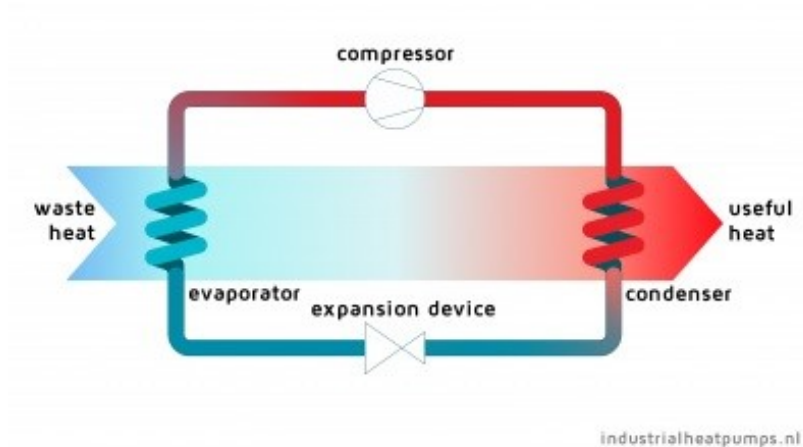
Sõltuvalt protsessist erinevad eralduvad heitsoojuse kogused ja temperatuurid suuresti – näiteks sundventilatsiooni korral on välja ventileeritava õhu temperatuur madal ning reeglina võrdne ventileeritava ruumi temperatuuriga. Sellisele madalatemperatuurilisele heitsoojusele on keeruline leida otsest rakendust ning tavaliselt leiab see kasutust sissepuhutava välisõhu temperatuuri tõstmisel erinevate soojusvahetite abil. Kõrgematemperatuurilisele heitsoojusele leidub tänu tema kõrgemale temperatuurile ka rohkem rakendusi – näiteks saab katelde suitsugaasides, katelde põhja läbipuhkevees või heitaurust leiduvat heitsoojust kasutada tagastuva küttevee temperatuuri tõstmiseks enne kui vesi jõuab tagasi soojusvahetisse või katlasse. Samuti saab kõrgematemperatuurilist heitsoojust kasutada tarbevee soojendamisel kas vee algtemperatuuri tõstmiseks enne lõplikku soojendamist soovitud temperatuurile või sõltuvalt heitsoojuse temperatuurist soojendada otse tarbevett. Samuti saab heitsoojusega tõsta erinevates pesuprotsessides

vajamineva pesuvee temperatuuri või kasutada heitsoojust otse madalatemperatuurilises küttes (põrandaküte, madalatemperatuurilised radiaatorid).

## **2.2. Soojuspumba tööpõhimõte**

Soojuspump on seade soojuse ülekandmiseks madalama temperatuuriga keskkonnalt kõrgema temperatuuriga keskkonnale [22], ehk soojuspump võimaldab madalatemperatuurilise heitsoojuse temperatuuri tõsta kõrgemale, soovitud temperatuurile. Seega sobib soojuspump nendes tingimustes heitsoojusenergia utiliseerimiseks.

Välja on töötatud erinevaid soojuspumpade lahendusi, nende hulgas leiab kõige sagedamini kasutamist mehaaniline soojuspump. Seda tüüpi soojuspumba töö põhineb töötava vedeliku ehk niinimetatud külmutusagensi kokkusurumisel ja paisumisel. Mehaanilisel soojuspumbal on neli omavahel ühendatud põhikomponenti: aurusti, kompressor, kondensaator ja paisventiil. Süsteemis ringlev külmutusagens on vastavalt töötsüklile kas vedelas või gaasilises olekus. Lihtsustatult on mehaanilise soojuspumba tööpõhimõte järgmine: töötsükli alguses on külmaagens vedelas olekus. Kasutades saada olevat heitsoojust, tõstetakse külmaagensi temperatuuri, mis omakorda selle tõttu aurustub ning muutub gaasiks. Aurustunud külmaagens liigub edasi kompressorisse, kus gaasi rõhku tõstetakse ning mille käigus suureneb gaasi temperatuur. Kompressorist liigub kokkusurumisel kõrgema temperatuuri saavutanud gaas edasi kondensaatorisse, kus kondenseerumisel antakse ära gaasi kokkusurumisel eraldunud soojusenergia ning gaas muutub vedelikuks. Vabanenud soojusenergia suunatakse seadmest välja küttesüsteemi. Veeldunud gaas liigub edasi paisventiili, kus toimub kõrgel rõhul oleva vedeliku rõhu alandamine ning kogu tsükkel algab algusest. Sõltuvalt temperatuuridest ja rakendustest kasutatakse soojuspumpades külmaagensina erinevaid gaase ja nende segusid.



**Joonis 2.1.** Mehaanilise soojuspumba tööpõhimõte [22].

Kui mehaanilises soojuspumbas kasutatakse gaasi rõhu tõstmisel kompressori käitamiseks elektrienergiat, siis gaasimootori soojuspumbas käitab kompressorit gaasimootor. Sellest ka soojuspumba tüübi nimetus – gaasimootoriga soojuspump [23]. Selles lahenduses kasutatakse lisaks külmaagensi kondenseerumissoojusele ära ka mootori jahutusvedeliku ning põlemisel eralduvate heitgaaside soojust.

Absorbeeriva soojuspumba tööpõhimõte põhineb külmutusagensi aurustamisel ja selle absorbeerimisel absorbeerivasse keskkonda. Tuntuma külmaaine ja absorbeeriva keskkonna kombinatsioonid on liitiumbromiid (LiBr) ja vesi ning ammoniaak ja vesi [24]. Sellist tüüpi soojuspumbas on liikumapanevaks jõuks elektrienergia ja kompressori asemel soojusenergia ning see lahendus eeldab protsessi tööshoidmiseks lisasoojusenergia olemasolu.

### **3. SOOJUSPUMBA KASUTAMISE VÕIMALUSED ETTEVÕTTES**

#### **3.1 Heitsoojuse allikad**

Ettevõttes on põhiline kasutamata heitsoojuse allikas autoklaavides tehtava kuumtöötluste tulemusena saadav jahutusvesi, mida alates 2016. aasta lõpust on osaliselt taaskasutatud tootmisprotsessides ning sooja tarbevee soojendamise allikana. Lisaks sellele eraldub heitsoojust külm- ja jahekambrite jahutamiseks kasutatavate kompressorite tööst, seda sisaldub väljatõmbeventilatsiooniga ventileeritavas heitõhus, CIP pesu käigus kanaliseeritavas pesuvees, aurukatlamajas maagaasi põletamisest eralduvates suitsugaasides, katla põhjaläbipuhke käigus kanaliseeritavas katla vees ning deaeraatorist heitauruga atmosfääri minevas aurus.

Käesolev töö keskendub ainult autoklaavide jahutusvees leiduva heitsoojuse kasutamise võimalustele soojuspumbaga ning pakub välja erinevaid lahendusi selle heitsoojuse kasutamiseks, võttes aluseks erinevaid eesmärgi.

Üheks lahenduseks on ehitada kogu autoklaavide jahutusvee ring kinniseks ehk seada eesmärgiks jahutada kogu autoklaave läbinud jahutusvesi, mille keskmine temperatuur on 31 °C, uuesti tagasi 7 °C peale. See tähendab, et enam ei kasutataks autoklaavide jahutamise vajaduse katmiseks pidevalt välja pumbatavat ning edasi kanalisatsiooni suunavat külma puurkaevu vett. Selle asemel jahutatakse kogutud 31 °C jahutusvesi soojuspumba abil uuesti vajalikule madalale 7 °C temperatuurile ning suunatakse rõhutõstepumpade abil tagasi autoklaavide jahutamiseks.

Teiseks lahenduseks võiks olla võimalikult otstarbekalt kasutada kogu autoklaavidest saadavat heitsoojusega jahutusvett samal ajal nii kõrgetemperatuurilise küttevee kui madalamatemperatuurilise jahutusvee saamiseks.

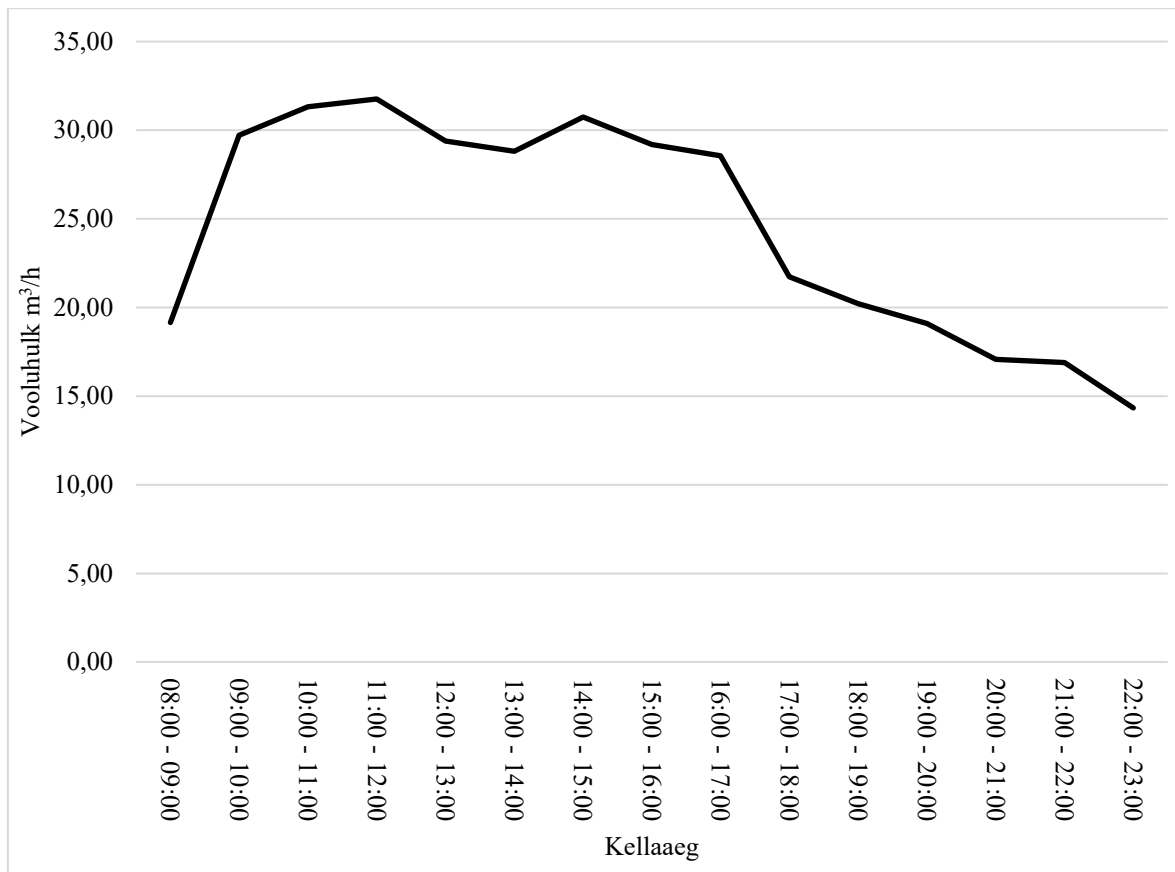
### 3.2. Heitsoojuse kogused

Peatükis 1.3 tabelites 1.2 ja 1.3 on esitatud tootmise käigus kasutatud ja heitsoojust sisaldavad jahutusvee kogused ning jahutusvees sisalduvad heitsoojusenergia kogused perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019. Üheks soojuspumpade abil kasutamiseks sobiva heitsoojusenergia hulga arvutamise aluseks on keskmine autoklaave läbiv mõõdetud jahutusvee kogus päevas –  $326 \text{ m}^3$ . Tingituna tootmise eripärast on juuli ja augusti tootmismahud oluliselt suuremad kui ülejäänud perioodil. Kui keskmine autoklaave läbiv jahutusvee hulk päevas on  $326 \text{ m}^3$ , siis juulis ja augustis on keskmine autoklaave läbiv jahutusvee kogus päevas  $517 \text{ m}^3$ . Siin ja edaspidistes arvutustes on kasutatud keskmist päevast veekogust –  $326 \text{ m}^3$ , kui ei ole viidatud teistmoodi.

Jahutusvee ajalist kättesaadavust tuleb vaadata autoklaavide töö järgi. Kui tootmise protsessi alustatakse juba enne kella 06:00 hommikul, siis autoklaavidesse suunatava valmistoodangu tegemine võtab aega. Seetõttu vajavad autoklaavid jahutusvett alles peale kella 07:00 ning kui tootmine lõpeb tavaliselt kell 15:00, siis päeva jooksul toodetud valmistoodangu kuumtöötlus võtab kauem aega ning seetõttu lõpeb autoklaavide töö mõnikord alles kell 23:00. Ehk aeg, mille vältel autoklaavid kasutavad jahutusvett, on kuni 16 tundi ööpäevas ja ühes tunnis jahutamiseks kasutatav keskmine veekogus on  $21 \text{ m}^3$ . Mõõtmistulemuste järgi võib maksimaalne ühes tunnis autoklaave läbiv jahutusvee kogus olla isegi  $78 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Joonisel 3.1 on esitatud päevas keskmine tunni kestel autoklaave läbiv jahutusvee kogus.





**Joonis 3.1.** Päevas keskmine tunni kestel autoklaave läbiv jahutusvee kogus.

### 3.3. Eralduva heitsoojuse kasutamise võimalused soojuspumba abil

#### 3.3.1. Soojusenergia kasutamise võimalused

Kuna soojuspumba kasutamisel eraldub pumba tööpõhimõttest tingituna märkimisväärses koguses soojusenergiat, siis tuleb otsustada, milleks eraldunud soojusenergiat kasutada.

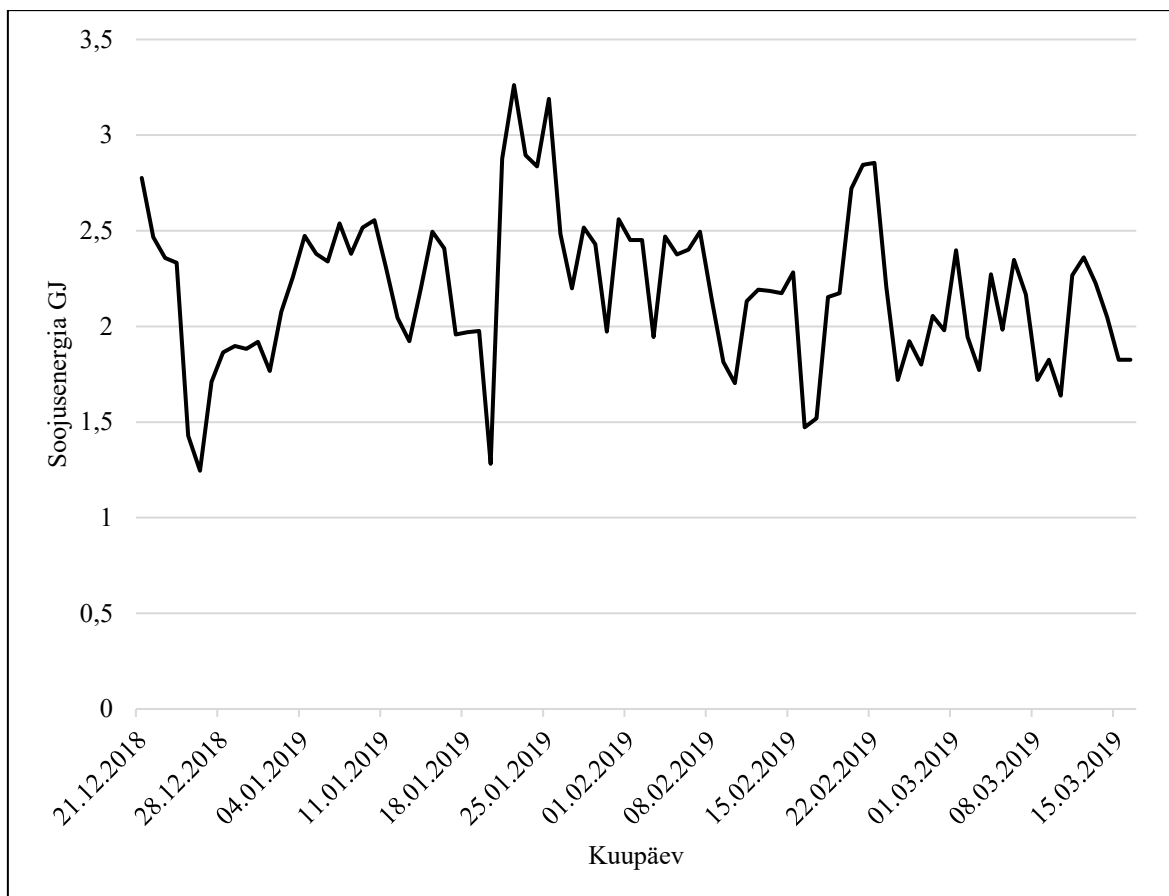
Praegu kasutatakse ettevõtte hoonete soojusenergiaga varustamiseks maagaasi, millega köetakse kahte aurukatelt koguvõimsusega 13 MW. Hoone keldrisse on paigaldatud soojussõlm, kus auru kondenseerumisel saadav soojusenergia kantakse aur-vesi soojusvaheti abil üle hoone keskküttesüsteemis ringlevale kütteveele. Hoone kütmiseks kasutatakse vastavalt ruumide eksploatatsiooni eesmärkidele kas radiaatorkütet või erinevaid õhkkütte liike. Samuti saadakse samast aur-vesi soojusvahetist vajalik soojusenergia tarbevee soojendamiseks. Läbi aur-vesi soojusvaheti tsirkuleeriva vee

temperatuuri reguleeritakse auru torustikul oleva 2T ventiili abil nii, et soojusvahetist väljuva küttevee pealevoolu temperatuur on 80 °C.

Alates 21. detsembrist 2018 on soojasõlme paigaldatud soojusenergiamõõtur, mis mõõdab kogu soojussõlmes edastatavat soojusenergiat. Soojusenergiamõõtur on paigaldatud küttevee tagasivoolu torustikule, kuna seal on temperatuur madalam kui pealevoolu torustiku temperatuur. Soojuskulumõõtur mõõdab kogu küttesüsteemi poolt kasutatud soojusenergiat, st nii hoone kütmiseks kui ka tarbevee soojendamiseks kasutatud soojusenergiat. Kuna sooja tarbevee torustikule on paigaldatud oma veekulumõõtur ja on teada sooja tarbevee alg- ning lõpptemperatuurid, siis on võimalik välja arvutada, kui palju kasutatakse ööpäevas soojusenergiat hoone kütmisele ning kui palju tarbevee soojendamisele.

Hoonete ööpäevane keskmine soojusenergia vajadus kõigub tingituna ööpäevasest õhutemperatuuride muutustest, sõltub, kas tegu on tööpäeva või puhkepäevaga ning tootmisprotsesside eripäradest. Perioodil 21.12.2018–15.03.2019 oli ööpäevane keskmine soojusenergia tarve tunnis koos tarbevee soojendamisega 2,2 GJ. Seni suurim mõõdetud soojussõlme läbinud soojusenergia kulu oli teisipäeval, 22. jaanuaril 2019. aastal, mil ööpäeva keskmine energia kogus tunnis oli 3,3 GJ ning väikseim mõõdetud soojusenergiatarve oli kolmapäeval, 26. detsembril 2018, mil ööpäeva keskmine soojusenergia kogus tunnis oli 1,2 GJ.

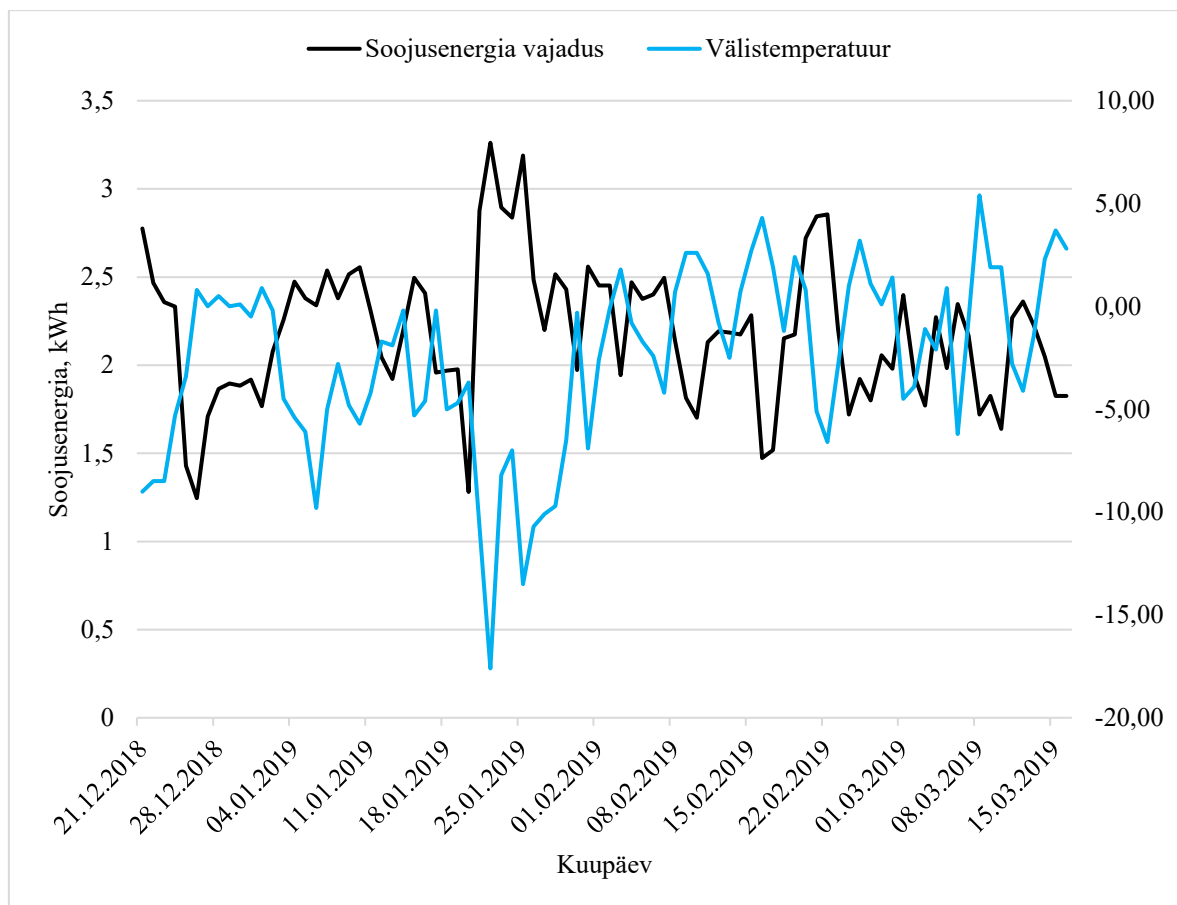
Joonisel 3.2 on esitatud graafik soojusenergia kasutamisest ööpäevade keskmiste lõikes. Mõõtmise andmed on saadud hoone soojasõlme paigaldatud soojuskulumõõturilt.



**Joonis 3.2.** Ööpäevane keskmine soojusenergia kulu perioodil 21.12.2018–15.03.2019.

Ainult hoone küttevajaduse katmiseks (st välja on jäetud tarbevee soojendamiseks kasutatud soojusenergia kogus) kasutatud keskmine soojusenergia kogus perioodil 21.12.2018–15.03.2019 oli 1,8 GJ. Suurim mõõdetud ainult küttele kulunud soojusenergia kogus oli reedel, 25. jaanuaril 2019 aastal, mil ööpäeva keskmine soojusenergia tarve tunnis oli 3,17 GJ ning väikseim mõõdetud soojusenergia tarve oli pühapäeval, 24. veebruaril 2019, millal ööpäeva keskmine tunnis tarbitud soojusenergia kogus oli 0,63 GJ.

Tuginedes Riigi Ilmateenistuse Tartu–Tõravere meteoroloogiajaama andmetele oli reedene, 25. jaanuari ööpäevane keskmine õhutemperatuur -13,5 °C [25]. 24. veebruari ööpäeva keskmine õhutemperatuur oli 1 °C. Joonisel 3.3 on esitatud võrdlev graafik ainult hoonete soojusenergia vajaduse katmiseks kasutatud soojusenergia kogustest ööpäeva keskmiste kestel sõltuvalt välistemperatuurist.



**Joonis 3.3.** Ainult hoonete soojusenergia vajaduse katmiseks kasutatud soojusenergia koguse sõltuvus välistemperatuurist perioodil 21.12.2018–15.03.2019.

Sooja tarbevee kasutamine algab samal ajal koos tootmise protsessidega enne kella 06:00 hommikul ning lõppeb õhtul peale kella 23:00. Perioodil 1.03.2018 kuni 28.02.2019 oli päeva keskmine sooja tarbevee kulu ühes tunnis 3 m<sup>3</sup>/h. Maksimaalne mõõdetud sooja tarbevee kulu ühes tunnis oli 13 m<sup>3</sup>/h ning minimaalne kulu tunnis 0,77 m<sup>3</sup>/h. Tabelis 3.1 on esitatud päevane keskmine sooja tarbevee kulu tundide lõikes.

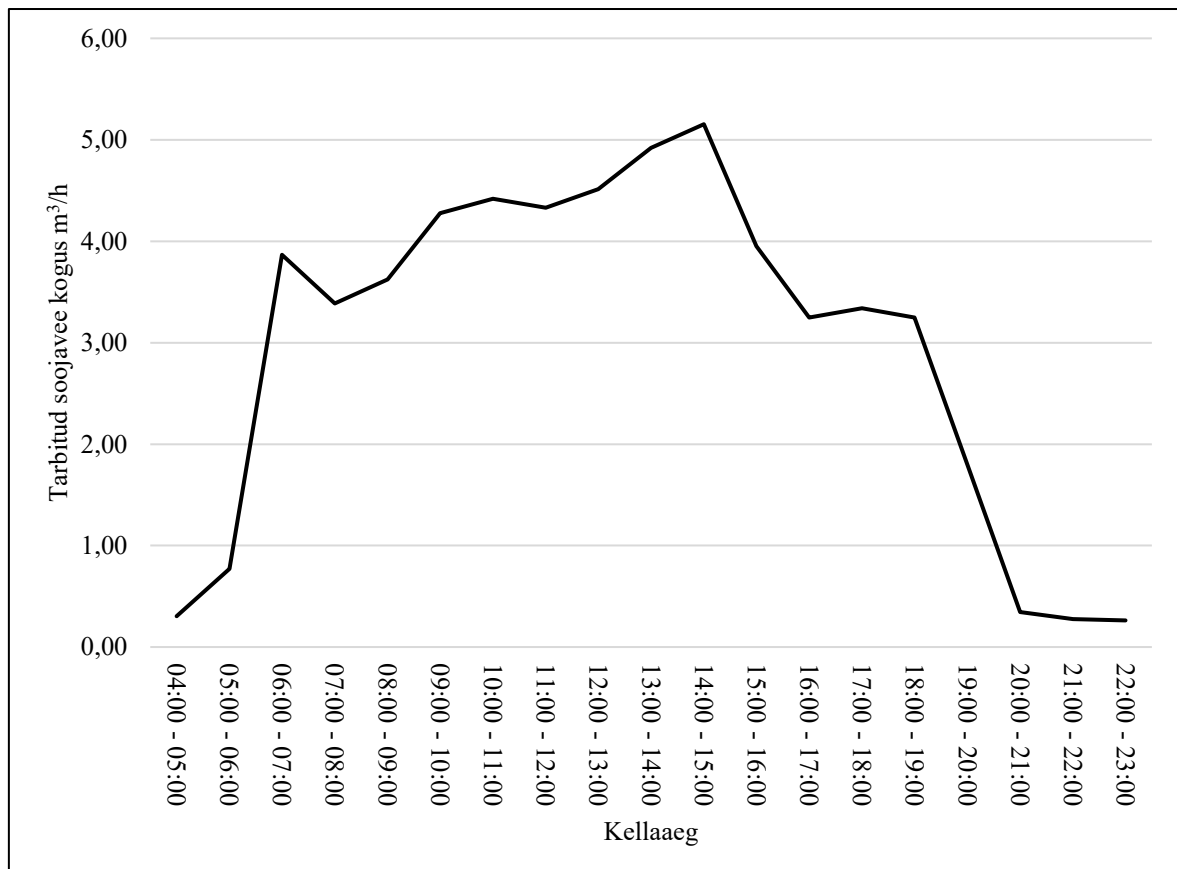
**Tabel 3.1.** Päevas kasutatud keskmine sooja tarbevee kogus tundide kestel

Kellaeg	Sooja tarbevee kasutamine m <sup>3</sup> /h
05:00–06:00	0,77
06:00–07:00	3,87
07:00–08:00	3,39
08:00–09:00	3,62
09:00–10:00	4,28

**Tabeli 3.1. järg**

10:00–11:00	4,42
11:00–12:00	4,33
12:00–13:00	4,51
13:00–14:00	4,92
4:00–15:00	5,15
15:00–16:00	3,95
16:00–17:00	3,25
17:00–18:00	3,34
18:00–19:00	3,25
19:00–20:00	1,80
20:00–21:00	0,35
21:00–22:00	0,28
22:00–23:00	0,26

Joonisel 3.4 on esitatud päevas keskmine sooja tarbevee kasutamine tunni kestel.

**Joonis 3.4.** Päevas keskmine sooja tarbevee kasutamine tunni kestel.

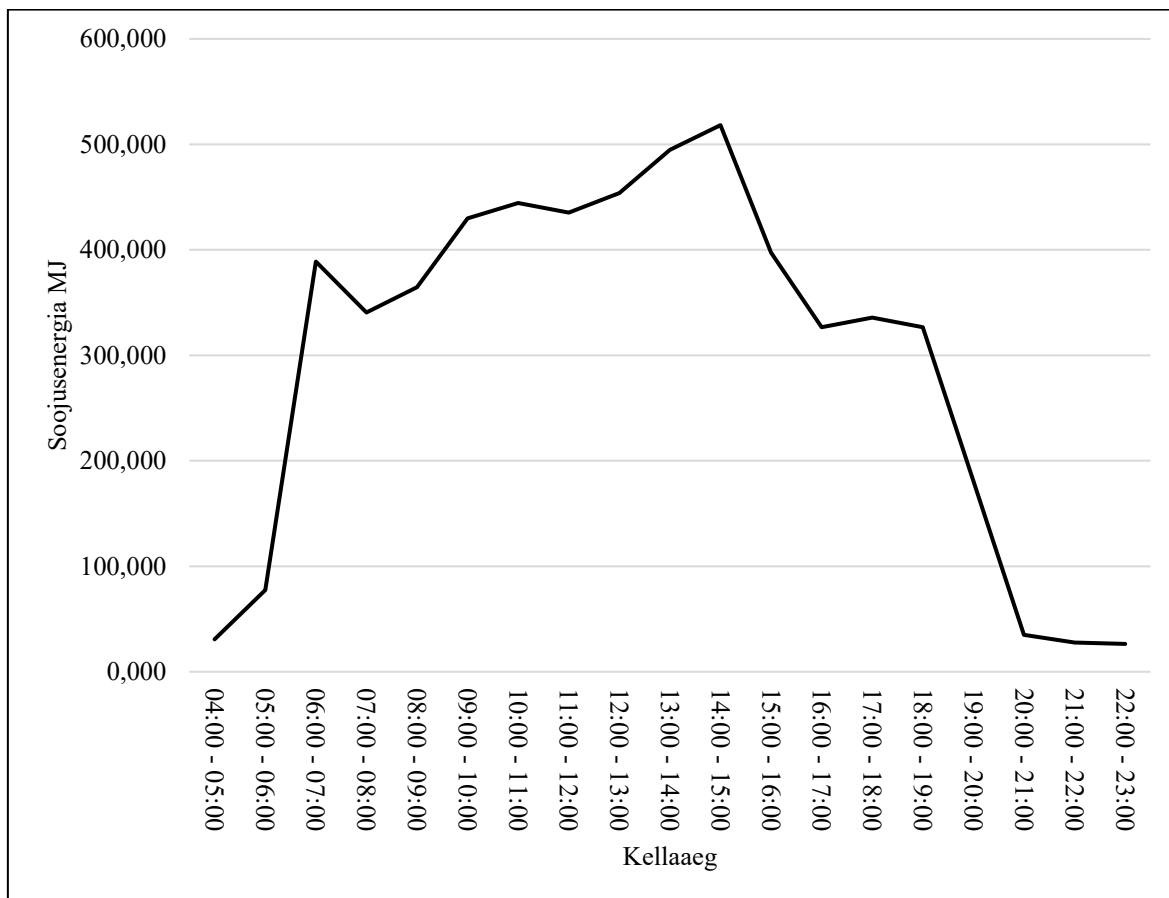
Teades, et tarbevee soojendamiseks kasutatakse heitsoojust sisaldavat vett, mille algtemperatuur on 31 °C ning soovitud lõpptemperatuur on 55 °C, ning võttes aluseks

tabelis 3.1 esitatud veekogused ja kasutades soojushulga arvutamise valemit (1.1), saab arvutada keskmise soojusenergia kulu sooja tarbevee soojendamiseks. Arvutuste andmed on esitatud tabelis 3.2.

**Tabel 3.2.** Arvutatud päevas keskmine tunni kestel kasutatud soojusenergia tarbevee soojendamiseks

Kellaaeg	Keskmine sooja tarbevee tarbimine m <sup>3</sup> /h	Tunnis kasutatud soojusenergia MJ
05:00–06:00	0,44	30,66
06:00–07:00	3,14	77,50
07:00–08:00	2,77	388,75
08:00–09:00	2,82	340,68
09:00–10:00	3,18	364,47
10:00–11:00	2,98	429,96
11:00–12:00	3,15	444,43
12:00–13:00	3,23	435,35
13:00–14:00	3,55	453,75
14:00–15:00	4,21	494,71
15:00–16:00	4,26	518,25
16:00–17:00	3,11	397,33
17:00–18:00	2,38	326,57
18:00–19:00	1,66	335,82
19:00–20:00	0,90	326,56
20:00–21:00	0,41	181,01
21:00–22:00	0,40	34,86
22:00–23:00	0,30	27,65

Joonisel 3.5 on graafiliselt esitatud ja tabelisse 3.2 arvutuste tulemusena kantud keskmine päevas kasutatud soojusenergia tarbevee soojendamiseks tunni kestel.



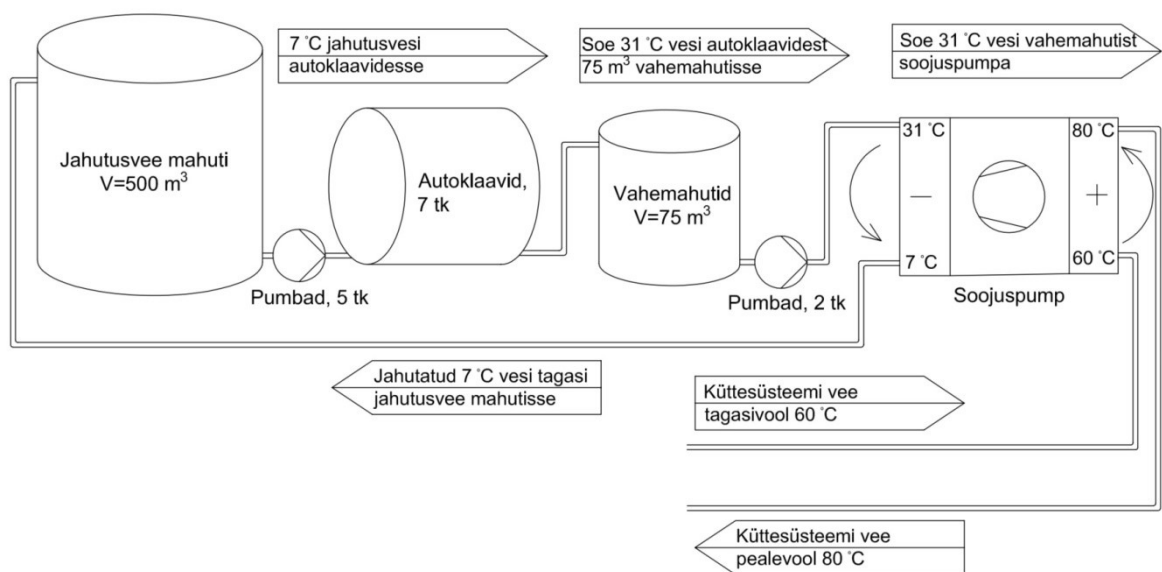
**Joonis 3.5.** Arvutatud päevas keskmine tunni kestel kasutatud soojusenergia tarbevee soojendamiseks.

### 3.4. Jahutusvee täielik taaskasutamine kinnises süsteemis

Üheks soojuspumba kasutamise võimaluseks ettevõttes on autoklaave läbinud ning heitsoojusenergiat sisaldava jahutusvee tagasi jahutamine soovitud 7 °C temperatuurile. Kõrgema temperatuuriga kui 7...8 °C jahutusvesi ei sobi, kuna ei taga piisavalt kiiret autoklaavides oleva toote jahutamist, toode nõ kuumeneb üle ning võib seetõttu kaotada oma kaubandusliku väärtuse, maitseomadused ja muutuda lõpptarbijale ebameeldivaks.

Üks lahendustest oleks eraldada kogu autoklaavide jahutusvesi üldisest süsteemist ning ehitada jahutusvee ringlus kinniseks süsteemiks ning lõpetada sellega täielikult jahutusvee kanalisatsiooni suunamine. See tähendab, et autoklaavidest tulev heitsoojusenergiat

sisaldav jahutusvesi kogutakse 75 m<sup>3</sup> vahemahutisse ja jahutatakse soojuspumpade abil tagasi 7 °C temperatuurile. 7 °C vesi suunatakse edasi 500 m<sup>3</sup> kogumismahutisse, kust külm vesi pumbatakse vajaduse tekkimisel uuesti rõhutõstepumpade abil tagasi tootmisesse autoklaavide jahutamiseks, ehk tekib kinnine jahutusvee ringluse süsteem. Vahemahutit on vaja, et kompenseerida süsteemis erinevate autoklaavide erinevast tööajast tingitud jahutusvee kogunemise ebaühtlust ning aidata tagada soojuspumpadele tööks vajaliku heitsoojusenergiaga vee olemasolu. Jahutamiseks kasutatava vee suletud ringluse tehnoloogiline skeem on esitatud joonisel 3.6.



**Joonis 3.6.** Autoklaavide jahutusvee suletud ringluse tehnoloogiline skeem.

Pikaajalistest mõõtmistulemustest on teada, et tööpäeva jooksul (16 h) läbib autoklaave keskmiselt 326 m<sup>3</sup> jahutusvett, selle vee keskmine temperatuur on 31 °C ning vajalik on saavutada vee temperatuur maksimaalselt 7 °C. Kui jagada autoklaave läbinud veekogus võrdselt kogu tööpäeva ulatuses, teeb see ühes tunnis vajalikuks jahutatavaks veekoguseks 21 m<sup>3</sup>.

### 3.4.1. Soojuspumba valik

Soojuspumba dimensioneerimiseks kasutan Soome ettevõtte Oilon toodete valikuprogrammi Oilon Selection Tool v2.2.12. Soojuspumba valiku aluseks on tunnis jahutada tuleva vee kogus, teadaolevalt 21 m<sup>3</sup>, jahutatava vee algtemperatuur 31 °C ja

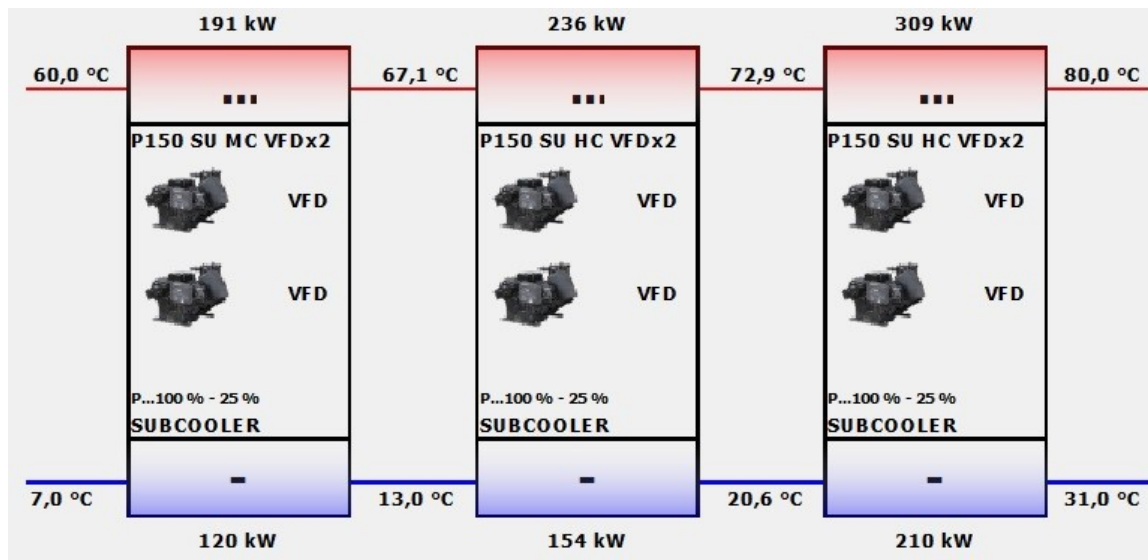


lõpptemperatuur 7 °C. Kuna soojuspumba tööga kaasneb paratamatult soojusenergia eraldumine ning lisaks heitsoojusele kasutatakse jahutusenergia saamiseks soojuspumpade töös ka elektrienergiat, siis on mõistlik leida sellele soojusenergiale kasutus. Kuna käesolevas töös näidetena kasutatavad ettevõtte Oilon tööstuslikud soojuspumbad võimaldavad tõsta kondensaatorist väljuv vee temperatuuri kuni 120 °C, siis saab jahutusenergia saamise käigus soojuspumba töös eralduvat kõrge temperatuuriga soojusenergiat kasutada hoone küttesüsteemis soojusenergia vajaduse katmiseks. Kuna olemasolevas küttesüsteemis kasutatakse kütte pealevoolu temperatuuri 80 °C ning tagasivoolu temperatuuri 60 °C, siis on soojuspumba dimensioneerimisel valitud kondensaatoris temperatuurideks samad temperatuuride väärtused. Samuti puudub nende temperatuuridega arvestamise korral vajadus ümber ehitada olemasoleva soojussõlme seadmete juhtimise loogikat.

Kasutades soojuspumba valikuprogrammi Oilon Selection Tool v2.2.12, saan üheks võimalikuks lahenduseks kolmest järjestikku ühendatud identsest soojuspumbast koosneva komplekti, mille töö parameetrid on  $\pm 5\%$  täpsusega:

- jahutusvõimsus vastavalt normile EN 12900 485 kW;
- elektriline võimsus 257 kW;
- soojusvõimsus 736kW;
- jahutusvõimsus 485 kW;
- COP jahutamisel 1,81;
- COP kütisel 2,79;
- soojusenergia allikas: vesi;
- aurustisse sisenev temperatuur 31 °C;
- aurustist väljuv temperatuur 7 °C;
- aurusti poole vooluhulk 4,9 kg/s;
- kondensaatori poole soojusenergia kandja: vesi;
- kondensaatorisse sisenev kütteeve temperatuur 60 °C;
- kondensaatorist väljuv kütteeve temperatuur 80 °C;
- kondensaatori poolne vooluhulk 9,1 kg/s.

Seadmete täpsem spetsifikatsioon on esitatud lisas 1, joonisel 3.7 on esitatud kolme järjestikku ühendatud soojuspumba tehnoloogiline skeem.



**Joonis 3.7.** Kolmest järjestikku ühendatud soojuspumbast koosneva komplekti tehnoloogiline skeem.

Valitud seadmete jahutusvõimsus ning jahutamise käigus jahutatava vee kogus tunnis jääb veidi alla soovitud andmete (autoklaavide keskmine jahutusvee vajadus on  $0,0058 \text{ m}^3/\text{s}$ , soojuspumbad suudavad jahutada  $0,0049 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Kuid kuna süsteemi on paigaldatud  $75 \text{ m}^3$  vahemahuti, siis võimaldab see soojuspumpadel töötada ööpäevas pikema aja kui on autoklaavide tööaeg, kasutades selleks vahemahutisse kogutud jahutusvett. Viimaste tööaeg on orienteeruvalt 16 h, soojuspumbad aga peavad vajaliku keskmise jahutusvee koguse jahutamiseks töötama ööpäevas  $\sim 19 \text{ h}$ .

Soojuspumpade komplekti töö käigus vabaneb tunnis arvestatavalt suures koguses soojusenergiat –  $2,6 \text{ GJ}$ . Hoonete mõõdetud keskmine soojusenergia vajadus tunnis koos sooja tarbevee soojendamiseks kasutatava soojusenergiaga on olnud  $2,2 \text{ GJ}$  (vaata peatükk 3.1). Kuid kuna eesmärk on eraldada jahutusvesi üldisest veekasutusest, siis ei ole enam võimalik kasutada  $31 \text{ °C}$  jahutusvett, mis on seni olnud tarbevee soojendamise aluseks. Selle asemel tuleb tarbevee soojendamiseks hakata kasutama külma puurkaevuvett, mille temperatuur on  $7 \text{ °C}$  ja sellega suureneb oluliselt soojusenergia kulu tarbevee soojendamisele. Kasutades soojushulga arvutamise valemit (1.1), on tabelis 3.3 on esitatud arvutused päevas keskmiselt tarbevee soojendamiseks kasutatud soojusenergia koguse kohta tunni kestel. Arvutuste käigus on võrreldud kahe erineva algtemperatuuriga vett. Esimesel juhul on temperatuuride vahe  $24 \text{ K}$ , kus vee soojendamine algab temperatuurilt

31 °C ja lõppeb temperatuuril 55 °C. Teisel juhul on temperatuuride vahe 48 K, kus vee soojendamine algab temperatuurilt 7 °C ja lõppeb temperatuuril 55 °C.

**Tabel 3.3.** Arvutused päevas kasutatud keskmise soojusenergia vajaduse kohta tarbevee soojendamiseks tunni kestel

Kellaaeg	Keskmine sooja tarbevee kasutamine m <sup>3</sup> /h	Vajalik energia tunnis tarbevee soojendamiseks temp. vahega 24 K, GJ	Vajalik energia tunnis tarbevee soojendamiseks temp. vahega 48 K, GJ
05:00–06:00	0,30	0,03	0,06
06:00–07:00	0,77	0,08	0,15
07:00–08:00	3,87	0,39	0,78
08:00–09:00	3,39	0,34	0,68
09:00–10:00	3,62	0,36	0,73
10:00–11:00	4,28	0,43	0,86
11:00–12:00	4,42	0,44	0,89
12:00–13:00	4,33	0,44	0,87
13:00–14:00	4,51	0,45	0,91
14:00–15:00	4,92	0,49	0,99
15:00–16:00	5,15	0,52	1,04
16:00–17:00	3,95	0,40	0,79
17:00–18:00	3,25	0,33	0,65
18:00–19:00	3,34	0,34	0,67
19:00–20:00	3,25	0,33	0,65
20:00–21:00	1,80	0,18	0,36
21:00–22:00	0,35	0,04	0,07
22:00–23:00	0,28	0,03	0,06
<b>Kokku</b>	<b>55,8</b>	<b>5,61</b>	<b>11,22</b>

Kui eraldada autoklaavide jahutusvee ringlus täielikult muust veevärgist, tähendab see ööpäevase tarbevee soojendamiseks vajaliku keskmise soojusenergia koguse suurenemist kaks korda – arvutuste järgi suureneb kulu 5,6 GJ võrra ehk keskmiselt kulub siis tarbevee soojendamiseks 11,2 GJ ööpäevas. Arvestades, et suureneb soojusenergia tarve tarbevee soojendamisele, suureneb selle tõttu kogu hoone keskmine soojusenergia vajadus tunnis. Peatükis 3.1 on esitatud kogu küttesüsteemi tunni keskmine soojusenergia kulu, mis on 2,2 GJ ning siia lisandub tabelis 3.3 esitatud keskmine soojusenergia kulu, kuid soojendatava vee algtemperatuur 7 °C ja temperatuuride vahe 48 K, mis on 0,31 GJ. Seega suureneb hoone küttesüsteemi tunni keskmine soojusenergia kulu madalama tarbevee soojendamise

algtemperatuuri tõttu 2,51 GJ-ni. See aga vastab soojuspumpade töö käigus eralduvale soojusenergia kogusele (peatükis 3.3 on esitatud soojuspumba tehnilised andmed, sh. soojusvõimsus, mis on 2,65 GJ).

#### **3.4.2. Jahutusveest soojuspumbaga eraldatud soojusenergia kasutamine ettevõttes**

Kuna puuduvad pikemaajalised mõõtmisandmed hoonete kütmiseks vajaliku soojusenergia kulu osas, siis tuginedes seni mõõdetud andmetele võtab töö autor aluseks järgmise informatsiooni:

- keskmine soojusenergia kulu ühes tunnis hoone kütte vajaduse katmiseks perioodil oktoobri algusest kuni aprilli lõpuni on olnud 1,8 GJ (vaata peatükk 3.1);
- keskmine arvutuslik soojusenergia kogus tunnis tarbevee soojendamisele temperatuuride vahega 48 K on tabelis 3.2 esitaud andmete keskmise alusel 0,62 GJ.

Perioodil mai algusest kuni septembri lõpuni puudub hoonete kütte vajadus ning ainus võimalus küttesüsteemis soojusenergia kasutamiseks on tarbevee soojendamine.

Kui seada eesmärgiks jahutada päeva jooksul autoklaavide jahutamiseks kasutatud ning kogutud jahutusvesi uuesti tagasi 7 °C, siis tekib suvisel ajal probleem soojuspumpade töö käigus eralduvale soojusenergiale kasuliku eesmärgi leidmisega. Nagu eelpool öeldud, puudub mai algusest kuni septembrini lõpuni soojusenergia vajadus hoonete kütteks, siis ei ole ka võimalik suvel leida rakendust soojuspumpade töö käigus eralduvale soojusenergiale ja paratamatult tekib selle ülejääk. Kuna jahutusvee jahutamine on tootmise protsesside tõttu möödapääsmatu, siis ei saa suvel soojuspumpade komplekti seisata ega käitada vähendatud võimsusel. Soojuspumpade töö piiramise tulemusena ei saaks piisavas koguses jahutusvett, kuid autoklaavide jahutamiseks vajamineva jahutusvee juurdepumpamist puurkaevust püütakse vältida. Seega tuleb jahutusvee jahutamisel eralduvast soojusenergiast kuidagi vabaneda. Selleks võib näiteks õue paigaldatud kuivjahuti, mille abil saab liigse soojuspumpade töö käigus eralduva soojusenergia juhtida läbi kuivjahuti soojusvahetite õue.

Perioodi oktoobri algusest kuni aprilli lõpuni jääb sõltuvalt aastast 147 tööpäeva ja eelnevalt leitud soojuspumpade komplekti töötundide arv ühes tööpäevas on 19 h.

Soojuspumba tehnilistes andmetes lk. 38 on esitatud jahutusvee vooluhulgaks 0,00049 m<sup>3</sup>/s, korrutades selle 19 töötunniga, suudab soojuspump päevas jahutada 335 m<sup>3</sup> jahutusvett, mille algtemperatuur on 31 °C ning lõpptemperatuur 7 °C. Korrutades päevase jahutusvee koguse 335 m<sup>3</sup> perioodi jääva 147 tööpäevaga, on jahutatud vee kogus aastas 49 245 m<sup>3</sup>. Ühes tunnis eraldub soojuspumba töö käigus soojusenergiat 2,65 GJ ning 19 töötunni jooksul seega 50,35 GJ. Korrutades päevase soojuspumba töö käigus eralduva soojusenergia koguse 50,35 GJ perioodi jääva 147 tööpäevaga, on eralduv soojusenergia kogus 7402 GJ.

Peatükis 3.1 on esitatud hoonete tunni keskmine soojusenergia vajadus, mis on 1,8 GJ, siia lisandub tunni keskmine tarbevee soojendamiseks kuluv soojusenergia kogus, mis on 0,62 GJ, seega on küttesüsteemi tunni keskmine soojusenergia vajadus 2,42 GJ. Võttes aluseks eespool toodud soojuspumba töö ajad 147 päeva jooksul 19 h ning korrutades selle hoone soojusenergia vajadusega 2,42 GJ, saame tulemuseks 6 759 GJ. Seega on võimalik soojuspumba töö käigus eralduva soojusenergia kogusega katta piisava varuga nii hoonete soojusenergia vajadus kui ka tarbevee soojendamiseks vajaminev energia hulk.

Perioodi mai algusest kuni septembri lõpuni jääb sõltuvalt aastast 87 tööpäeva (juunis on tehases kollektiivpuhkus). Tingituna tootmise eripärast suureneb tootmismahd oluliselt juulis ja augustis, sellega aga kaasneb autoklaavide jahutamiseks vajaliku jahutusvee koguse hüppeline suurenemine. Selles perioodis on mõõdetud kuu keskmine jahutusvee kogus 326 m<sup>3</sup> asemel 517 m<sup>3</sup> päevas.

Talveperioodil tingib hoonete soojusenergia vajaduse katmine kõrge küttevee temperatuuri, küttevee süsteemi pealevoolu temperatuur on 80 °C, tagasivoolu temperatuur on 60 °C. Samas aga puudub suvel vajadus nii kõrge temperatuuriga küttevee järele, kui välja arvata tarbevee soojendamine. Autori arvates võiks ettevõtte suvisel ajal täielikult loobuda soojuspumpade töö käigus eralduvast soojusenergia kasutamisest tarbevee soojendamiseks ning kasutada selleks jätkuvalt tehase oma katlamajas maagaasi põletamisel eralduvat soojusenergiat. Mõõdetud päevane keskmine sooja tarbevee vajadus on 56 m<sup>3</sup> päevas. Kui soojendatava vee algtemperatuur on 7 °C ning lõpptemperatuur 55 °C, siis selleks vajalik soojusenergia kogus on leitav valemiga (1.1):

$$Q = 56\,000 \cdot 4190 \cdot (55 - 7) = 11\,262\,720\,000 \text{ J} \sim 11,3 \text{ GJ}$$

Valemiga (1.2) saab välja arvutada 11,3 GJ soojusenergia saamiseks vajaliku maagaasi koguse:

$$V_m = \frac{3138,89}{9,16} = 343 \text{ m}^3$$

Valemiga (1.2) on arvatud 56 m<sup>3</sup> tarbevee soojendamiseks 48 K võrra kuluva 11,3 GJ soojusenergia saamiseks vajalik maagaasi kulu, mis on 343 m<sup>3</sup>. Maagaasi kuupmeetri hind on 0,33065 € + käibemaks, seega kujuneb maagaasiga igapäevase tarbevee soojendamise maksumuseks 113,41 € + käibemaks.

Soojuspumpade komplekti töö käigus eraldub tunnis 2,6 GJ soojusenergiat ning soojuspump kasutab tunnis 257 kW·h elektrienergiat hinnaga 103,1 € MW·h + käibemaks. Vajaliku 11,3 GJ päevase tarbevee soojendamiseks vajamineva soojusenergia vajaduse katmiseks peab soojuspump töötama 4,35 h. Korrutades soojuspumba töötunnid – 4,35 h pumba poolt tarbitava elektrilise võimsusega 275 kW, saame elektrienergia kuluks 1196,25 kW·h. Korrutades elektrienergia kulu elektrienergia hinnaga, mis on 103,1 MW·h + käibemaks, saame igapäevase tarbevee soojendamise hinnaks 123,33 € + käibemaks.

Kuna perioodi mai algusest kuni septembri lõpuni jääb sõltuvalt aastast 87 tööpäeva, siis on päevas vajamineva 56 m<sup>3</sup> tarbevee soojendamiseks vajaliku 343 m<sup>3</sup> maagaasi, maksumusega 113,41€ + käibemaks, põletamisel eralduva soojusenergia maksumus perioodi vältel 10 729,71 € + käibemaks. Samal perioodil on sama soojusenergia hulga saamiseks soojuspumba töö käigus eralduva soojusenergia maksumus 9 866,67 € + käibemaks. Seega on perioodil mai algusest septembri lõpuni tarbevee soojendamiseks vajaliku soojusenergia koguse maksumuste vahe 863,04 € + käibemaks.

Arvestades tarbevee soojendamiseks vajaliku soojusenergia koguse maksumuste nii väikest erinevust, siis on töö autori arvates mõistlik loobuda perioodil mai algusest kuni septembri lõpuni tarbevee soojendamisel soojuspumba kasutamisest.

Loobudes suvisel ajal soojuspumpadega toodetavast soojusenergia kasutamisest tarbevee soojendamisel, võimaldab see alandada soojuspumpade komplekti kondensaatori poolset peale- ja tagasivoolu temperatuure ning oluliselt suurendada soojuspumpade kasutegurit. Vähendades kondensaatori poolset peale- ja tagasivoolu temperatuure, väheneb soojuspumba elektriline võimsus 176 kW (algne tööks vajalik 257 kW elektriline võimsus väheneb 81 kW võrra). Vähendades soojuspumba kondensaatori temperatuure nii, et

kondensaatorist väljuva vee temperatuur on 45 °C ja kuivjahuti abil õues jahutatud soojuspumba tagastuva vee temperatuur on 25 °C ning jättes aurusti poole ehk jahutatava vee temperatuurid muutmata, 31 °C on aurustisse siseneva vee temperatuur ning 7 °C väljuva vee temperatuur, siis suureneb aurusti poolne külma vee vooluhulk üle kahe korra – 0,0049 m<sup>3</sup>/s asemel on vooluhulk 0,0085 m<sup>3</sup>/s. Tänu suurenevale aurusti poole vooluhulgale väheneb soojuspumpade komplekti igapäevane töötundide arv. Mais ning septembris, kui on madalama intensiivsusega tootmise periood ja igapäevane vajalik jahutusvee kogus on 326 m<sup>3</sup>, tähendab see soojuspumpade töötundide arvu vähenemist ~11 h (perioodil oktoobri algusest aprilli lõpuni on soojuspumpade töötundide arv 19 h). Kõrgema intensiivsusega tootmise perioodil juulis ja augustis, kui jahutusvee kogus on tavalise päevase keskmise 326 m<sup>3</sup> asemel keskmiselt 517 m<sup>3</sup>, on soojuspumpade töötundide arv ~17 h päevas.

Vähendades kondensaatori poolset peale- ja tagasivoolu temperatuure, väheneb soojuspumba vajalik elektriline võimsus 81 kW võrra. Võttes aluseks perioodi jäävad tööpäevade ja töötundide arvud – mai ja septembris kokku 47 tööpäeva ning 11 töötundi; juulis ja augustis 44 tööpäeva ning 17 töötundi, tähendab see vajaliku jahutusvee saamiseks soojuspumba töötunde kokku 1265 h. Tänu alandatud temperatuuridele on soojuspumba elektriline võimsus 176 kW, mis tähendab kokku elektrienergia tarvet sellel perioodil 222 640 kW·h ~ 222,64 MW·h. Elektrienergia hind ettevõttele 103,10 € + käibemaks MW·h, elektrienergia maksumus kokku 22 954,18 € + käibemaks.

Juhul kui kondensaatori poolsed peale- ja tagasivoolu temperatuurid jääksid samaks – väljavoolu temperatuur 80 °C ning tagasivoolu temperatuur 60 °C, mis on vajalik tarbevee soojendamiseks, oleks 1265 töötunni jooksul elektrienergia kulu 325 105 kW·h ~ 325,105 MW·h ning selle energia maksumus 33 518,33 € + käibemaks. St et kondensaatori poole temperatuuride alandamisega väheneb selles perioodis elektrienergia kulu 10 564,15 € + käibemaks võrra. Eelpool toodud arvutuskäik tarbevee soojendamiseks maagaasi põletamisest saadava soojusenergiaga andis energia maksumuseks 10 729,71 € + käibemaks. Seega ei ole vahet, kas soojendada tarbevett maagaasis põletamisest saadava soojusenergiaga või kasutada selleks soojuspumba töö käigus eraldutav soojusenergiat, kuna energia maksumuse vahe on 165,56 € + käibemaks soojuspumba kasuks.

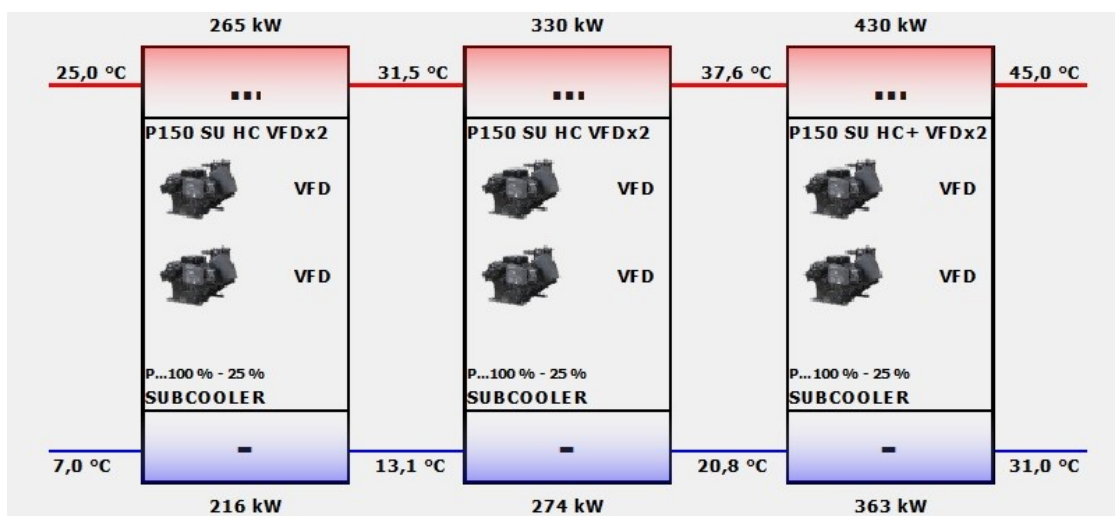
Jättes aga perioodil maist kuni septembrini kondensaatori poolsed peale- ja tagasivoolu temperatuurid kõrgeks, ei ole võimalik jahutada vajalikku päevast jahutusvee kogust, mis on 517 m<sup>3</sup>, kuna siis on aurusti poolne vooluhulk liiga väike, olles 0,0049 m<sup>3</sup>/s vajaliku

0,0085 m<sup>3</sup>/s asemel. Seega on kõigiti õigustatud perioodil maist kuni septembrini alandada kondensaatori poolset peale- ja tagasivoolu temperatuure ning kasutada siis tarbevee soojendamiseks maagaasi.

Soojuspumpade komplekti töö tehnilised andmed kütteperioodivälisel ajal, kui vähendada kondensaatori poolseid temperatuure:

- jahutusvõimsus vastavalt normile EN 12900 853 kW;
- elektriline võimsus 176 kW;
- soojusvõimsus 1026 kW;
- jahutusvõimsus 853 kW;
- COP jahutamisel 4,83;
- COP kütmisel 5,80;
- soojusenergia allikas: vesi;
- aurustisse sisenev temperatuur 31 °C;
- aurustist väljuv temperatuur 7 °C;
- aurusti poole vooluhulk 8,5 kg/s;
- kondensaatori poole soojusenergia kandja: vesi;
- kondensaatorisse sisenev küttevee temperatuur 25 °C;
- kondensaatorist väljuv küttevee temperatuur 45 °C;
- kondensaatori poolne vooluhulk 12,3 kg/s.

Seadmete täpsem spetsifikatsioon on esitatud lisas 1, joonisel 3.8 on esitatud tehnoloogiline skeem.



**Joonis 3.8.** Kolme järjestikku ühendatud P150 seeria soojuspumba tehnoloogiline skeem.



Lahenduse, kus kogu soojuspumba töötamisel saadav energia kasutatakse ettevõtte sees, ülevaade.

Kulud:

- soojuspumpade elektrienergia tarve on 257 kW·h, orienteeruv tööaeg kütteperioodil, millal saab soojuspumpade töös eralduvat soojusenergiat kasutada kütteks, on 147 päeva, soojuspumpade töötundide arv ~19 h päevas. Suvisesse perioodi, millal puudub hoonete küttevajadus ning soojusenergia tarbevee soojendamiseks saadakse katlamajast, jääb tööpäevi 87 ning soojuspumpade elektrienergiatarve on 176 kW·h. Tingituna tootmise intensiivsuse eripärast on sellest 44 tööpäeval soojuspumpadel töötunde ~19 h ööpäevas, kuid 42 päeval on töötunde 11 h ööpäevas. Kõikide perioodide jooksul soojuspumpade poolt kasutatud elektrienergia on kokku 946,25 MW·h. 1 MW·h elektrienergia maksumus koos võrgutasudega on 103,10 € + käibemaks. Seega on kulutused elektrienergiale perioodide jooksul kokku 97 558,28 € + käibemaks;
- kuivjahutite töötunnid jagunevad suvisel perioodil võrdselt soojuspumpade töötundidega – 44 päeval on töötunde 19 h ning 42 päeval on töötunde 11 h, seega kokku 1298 töötundi. Kuivjahutite elektriline koguvõimsus on 21,8 kW ning elektrienergia tarve kogu töö perioodi jooksul kokku 27,3 MW·h. Kuna MW·h hind on 103,10 € + käibemaks, siis on kulu kuivjahutitele 2917,36 € + käibemaks. Kuivjahuti andmed on toodud lisas 3.

Kulud kokku: 100 475,64 € + käibemaks.

Kokkuvõtte:

- kanalisatsiooni suunatava vee kogus väheneb 89 693 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup> vee kanalisatsiooni suunamise tasu on 1,080 € + käibemaks. Kokkuvõtte kanalisatsiooni suunatava vee vähenemise arvelt on aastas 96 868,44€ + käibemaks;
- vee erikasutustasu on 1000 m<sup>3</sup> eest 84,68 €. 89,693 m<sup>3</sup> korda 84,68 € annab aastas kokkuvõtte vee erikasutustasult 7595,20 €;
- puurkaevu sukelpump kasutab 1 m<sup>3</sup> põhjavee pumpamiseks elektrienergiat 0,3459 kW·h, seega väheneb kulu sukelpumba poolt tarbitavale elektrienergiale 89 693 m<sup>3</sup> korda tarbitav elektrienergia 1 m<sup>3</sup> kohta, kokkuvõtte 31 025 kW·h. Kokkuvõtte sukelpumba vähenenud elektrienergia tarbelt on 3198,66 € + käibemaks. Sukelpumba andmed on esitatud lisas 2;

- soojuspumpade komplektiga toodetav soojusenergia kogus, mida on võimalik kütteperioodi jooksul ära kasutada hoonete küttevajaduse katmiseks ning tarbevee soojendamiseks, on 7262 GJ. Selle soojusenergia koguse saamiseks vajalik maagaasi kogus on arvutatav valemiga (1.2):

$$V_m = \frac{2\,017\,222,22}{9,16} = 220\,220,77 \text{ m}^3$$

7262 GJ soojushulga saamiseks vajalik maagaasi kogus on 220 221 m<sup>3</sup>, maagaasi m<sup>3</sup> hind on 0,33065 € + käibemaks ning kokkuhoid seega 72 816 € + käibemaks;

- 220 221 m<sup>3</sup> maagaasi põletamisel eralduv CO<sub>2</sub> kogus on 407 tonni. CO<sub>2</sub>-heite tasu on 2€ t. Kokkuhoid CO<sub>2</sub>-heite tasult on 814 €;

Kokkuhoid kokku: 181 291,10 € + käibemaks.

Kokkuvõtvad andmed lahenduse kohta, kus kogu soojuspumba töötamisel eralduv energia kasutatakse ettevõtte sees, on toodud tabelis 3.4.

**Tabel 3.4.** Lahenduse, kus kogu soojuspumba töötamisel eralduv energia kasutatakse ettevõtte sees, arvutuste kokkuvõte

Kulud		Kokkuhoid	
Soojuspumpade elektrienergia tarve perioodi jooksul	97 558,28 €	Kanaliseerimise suunatava veekoguse vähendamine	96 868,44 €
Kuivjahutite elektrienergia tarve perioodi jooksul	2917,36 €	Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev vee erikasutustasu	7594 €
Suvel maagaasiga tarbevee soojendamise kulu	10 729,71 €	Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev sukelpumba elektrienergia kulu	3198,66 €
Suvel maagaasi tarbimisest tulenev CO <sub>2</sub> -heite tasu	18,9 €	Soojuspumba tööga eralduva soojusenergia arvelt vähenev maagaasi kulu küttevajaduse katmiseks	72 816 €
		CO <sub>2</sub> -heite vähenemiselt kokkuhoid CO <sub>2</sub> -heite tasult	814 €
<b>Kokku kulud</b>	<b>111 224,30 € + käibemaks</b>	<b>Kokkuhoid kokku</b>	<b>181 291,10 € + käibemaks</b>

### **3.4.3. Soojuspumbaga autoklaavi jahutusveelt eraldatud soojusenergia müük kaugkütte võrku**

Teine lahendus on müüa soojuspumbaga jahutusvee jahutamise käigus eralduv (liigne) soojusenergia Tartut soojusenergiaga varustava Fortum Tartu kaugküttevõrku. Selleks tuleb rajada ettevõtte soojussõlmes asuva soojuspumba soojusvaheti ning Fortum Tartu kaugküttevõrgu vaheline ühendus. Osa Fortum Tartu kaugküttevõrgus ringlevast tagastuvast madalama temperatuuriga küttevast saab sellise ühenduse loomise abil juhtida läbi ettevõtte soojussõlme paigaldatava soojusvaheti. Soojusvahetis tõstetakse Fortum Tartu kaugküttevõrgust saadava tagastuva madalama temperatuuriga küttevast temperatuuri, mis võiks olla 60 °C, 20 K võrra 80 °C ning suunatakse tagasi Fortum Tartu kõrgema temperatuuriga kütteveevõrku.

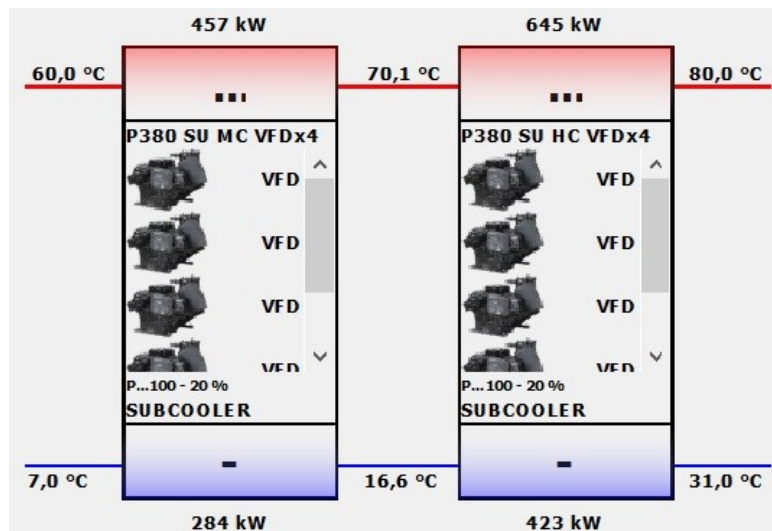
Siin on omakorda kaks lahendust – kas suunata kogu saadav soojusenergia Fortum Tartu kaugküttevõrku või siis ainult oma tarbimisest (hoonete küttevajaduse katmine, tarbevee soojendamine) üle jääv soojusenergia kogus. Kogu toodetud soojusenergia suunamisel Fortum Tartu ei teki probleemi kasutamist mitteleidva soojusenergiaga, mis eelnevalt vaadeldud lahenduse korral ventileeriti atmosfääri – arvestades kaugküttevõrgus olevate tarbijate hulka ning nende soojusenergia vajadust, on soojuspumba poolt toodetav soojusenergia hulk väike ning selle kasutamine kaugküttevõrgus ei tohiks olla probleem. Samuti võiks suurema soojusenergia koguse andmine kaugküttevõrku olla võrku omava soojusenergia müüja jaoks atraktiivsem lahendus, kui võrku suunatakse ainult nii palju soojusenergiat, kui parasjagu ettevõtte oma tarbimisest üle jääb. Seega suunatakse kogu soojuspumba töös eralduv soojusenergia Fortum Tartu AS võrku ning tarbevee soojendamiseks kasutatakse maagaasi põletamisel eralduvat soojusenergiat.

Kuid kuna, nagu eespool kirjeldatud, esineb ettevõtte tootmises kaks teistest selgelt eristuvat kuud, juuli ja august, kus tootmismahud suurenevad oluliselt ning samuti suureneb sellega iga päev vajaminev jahutusvee kogus 326 m<sup>3</sup>–lt päevas 517 m<sup>3</sup>–le päevas. See omakorda tähendab, et soojuspumpade jahedama temperatuuriga poole (aurusti) vooluhulk peab 24 h töö korral olema vähemalt 0,006 m<sup>3</sup>/s, seda eeldusel, et kondensaatori poolne (kõrgema temperatuuriga) temperatuur jääb aastaringi muutumatuks, olles temperatuuride vahel 20 K, kondensaatorist väljuva vee temperatuur 80 °C ning kondensaatorisse tagastuva vee temperatuur 60 °C. Seda põhjusel, et kaugküttevõrgu

temperatuurid on kõrgemad kui eelnevalt käsitletud lahenduses, kus kütteperioodi välisel ajal kasutati alandatud soojuspumba kondensaatori poolseid temperatuure – väljuva vee temperatuur vastavalt 45 °C ning tagastuva vee temperatuur 25 °C. Seega tuleb sellise lahenduse puhul valida uus pumpade komplekt, mis suudab jahutada suurenenud jahutusvee päevase koguse (517 m<sup>3</sup> tavapärase 326 m<sup>3</sup> asemel) tingimustel, kus kondensaatori poosed temperatuurid jäävad muutumatuteks - väljuva vee temperatuur on 80 °C ning tagastuva vee temperatuur on 60 °C. Selliseks valikuks on kahest järjestikku paigaldatud P380 seeria soojuspumbast koosnev komplekt, tehniliste andmetega:

- jahutusvõimsus vastavalt normile EN 12900 707 kW;
- elektriline võimsus 402 kW;
- soojusvõimsus 1102 kW;
- COP jahutamisel 1,76;
- COP kütmisel 2,74;
- soojusenergia allikas: vesi;
- aurustisse sisenev temperatuur 31 °C;
- aurustist väljuv temperatuur 7 °C;
- aurusti poole vooluhulk 7 kg/s;
- kondensaatori poole soojusenergia kandja: vesi;
- kondensaatorisse sisenev küttevee temperatuur 60 °C;
- kondensaatorist väljuv küttevee temperatuur 80 °C;
- kondensaatori poolne vooluhulk 13,1 kg/s.

Seadmete täpsem spetsifikatsioon on esitatud lisas 4, joonisel 3.9 on esitatud soojuspumpade järjestikku paigaldatud soojuspumpade tehnoloogiline skeem.



**Joonis 3.9.** Kahe järjestikku ühendatud P380 seeria soojuspumba tehnoloogiline skeem.

Seadmete tasuvuse arvutusel tuleb aluseks võtta keskmine vajalik päevane jahutusvee kogus ning arvestada juulis ja augustis suureneva jahutusvee kogusega. Näiteks 2019. aastal on tööpäevi, mis hõlmavad päevad esmaspäevast reedeni ning välja arvatud riigipühad, kokku 253 [26]. Kuna ettevõtte puhkab kollektiivselt juunikuus, siis selle võrra on 2019. aasta tööpäevade arv väiksem – 234 päeva. Juuli ja august moodustavad sellest omakorda 44 päeva. Seega töötab soojuspump 100% koormusel orienteeruvalt 44 päeva aastas ning töötundide arvuks ööpäevas kujuneb ~21 h. 190 päeva jooksul töötab pump madalamal koormusel. Kahjuks ei võimalda soojuspumba valiku programm arvutada vähendatud koormusel erinevaid väärtuseid, nagu vooluhulk, energiatarve, kasutegur, jne. Seetõttu võtab töö autor aluseks soojuspumpade 100% koormuse korral aurusti vooluhulga 0,007 m<sup>3</sup>/s ning madalama koormusega perioodide vajaliku jahutusvee vooluhulgaks 30% väiksema vooluhulga ehk 0,006 m<sup>3</sup>/s ning leiab siit omakorda, et sellise jahutusvee vooluhulga korral on soojuspumba vajalik võimsus 70%. Kuna madalama intensiivsusega perioodide keskmine vooluhulk on 326 m<sup>3</sup> päevas, siis kujuneb soojuspumpade töötundide arvuks sellel perioodil 18 h.

Alates 1. jaanuarist 2019 Fortum Tartu soojusenergia müügihind kaugküttevõrku 48,50 €/MW·h + käibemaks [27]. Soojuspumba 100% koormusel on soojuspumba töö käigus eralduv soojusenergia kogus 3,97 GJ, 100% koormusega töö tundide arv aastas on 924 h ning sellel ajaperioodil eralduv soojusenergia kogus on 3668 GJ. 70% koormusega, eralduv tunni soojusenergia kogus on 2,779 GJ, soojuspump töötab aastas kokku 3420 h ning selle perioodi jooksul eralduv soojusenergia kogus on 9504 GJ. Seega arvestades

eelpool esitatud mõõtmistulemusi ning soojuspumba valikut, on võimalik anda kaugküttevõrku aastas soojusenergiat vähemalt koguses 13 172,5 GJ ehk rahaliselt väärtuses 177 337,10 € + käibemaks. Töö autor ei tea, millist hinda on nõus Fortum tegelikult võrku antava soojusenergia eest maksuma, aga oletame, et see on 70% väljamüügihinnast ehk 33,95 €/MW·h. Saadav tasu soojusenergia müügist oleks sellisel juhul 124 136 € + käibemaks.

Lahenduse, kus kogu soojuspumba töötamisel saadav energia suunatakse kaugküttevõrku, ülevaade.

Kulud:

- soojuspumba elektrienergia tarve 402 kW, orienteeruv tööaeg võimsusel 100% kokku 44 päeva, töötunde päevas 21 h. Madalama intensiivsusega perioodil (septembrist kuni mai lõpuni), millal on tööpäevi 190, töötab soojuspump 70% võimsusel 281,4 kW ja seda 18 h ööpäevas. Perioodide elektrienergia kulu on kokku 1333,84 MW·h. 1 MW·h elektrienergia maksumus koos võrgutasuga on 103,10 € + käibemaks. Kulutused elektrienergiale aastas 137 518,90 € + käibemaks;
- sooja tarbevee aastane kulu on 14 410 m<sup>3</sup> (vaata tabel 1.2). 14 410 m<sup>3</sup> vee temperatuuri tõstmiseks 48 K võrra (7 °C algtemperatuurilt soovitud 55 °C) on vajalik soojushulk leitav valemiga (1.1):

$$Q = 14\,410\,000 \cdot 4190 \cdot (55 - 7) = 2,89 \cdot 10^{12} \text{ J} \sim 2898,14 \text{ GJ}$$

2,9 GJ soojusenergia saamiseks vajalik maagaasi kogus on arvutatav valemiga

$$V_m = \frac{805\,039}{9,16} = 87\,886 \text{ m}^3$$

Maagaasi kulu 14 410 m<sup>3</sup> tarbevee soojendamiseks 48 K võrra on seega 87 886 m<sup>3</sup>, maagaasi 1 m<sup>3</sup> maksumus on 0,33065 € + käibemaks. Kulutused maagaasile suurenevad 29 059,51 € + käibemaks võrra;

- CO<sub>2</sub>-heitetasu on 2 € / tonn. Suurenenud maagaasi kasutamise tõttu suureneb CO<sub>2</sub>-heide 162 t võrra, heitetasu suureneb 324 € võrra.

Kokku kulud 166 902,41 € + käibemaks.

#### Kokkuhoid:

- kanalisatsiooni suunatava vee kogus väheneb 89 693 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup> vee kanaliseerimise maksumus 1,080 € + käibemaks. Kokkuhoid aastas 96 868,44 € + käibemaks;
- vee erikasutustasu on 1000 m<sup>3</sup> eest 84,68 €. 89,693 m<sup>3</sup> korda 84,68 € annab aastas kokkuhoiu vee erikasutustasult 7595,20 €;
- puurkaevu sukelpump kasutab 1 m<sup>3</sup> põhjavee pumpamiseks elektrienergiat 0,3459 kW·h, seega väheneb kulu sukelpumba poolt tarbitavale elektrienergiale 89 693 m<sup>3</sup> korda tarbitav elektrienergia 1 m<sup>3</sup> kohta, kokkuhoid 31 025 kW·h. Kokkuhoid sukelpumba vähenenud elektrienergia tarbelt on 3198,66 € + käibemaks. Sukelpumba andmed on esitatud lisas 2;
- saadav võimalik tasu toodetava soojusenergia müügist 137 518,49 € + käibemaks.

Kokku tulud ja kokkuhoid 245 197,43 € + käibemaks 20%.

Kokkuvõtvad andmed lahenduse kohta, kus kogu soojuspumba töötamisel eralduv energia müüakse kaugküttevõrku, on toodud tabelis 3.5.

**Tabel 3.5.** Lahenduse, kus kogu soojuspumba töötamisel eralduv energia kasutatakse ettevõtte sees, arvutuste kokkuvõte

Kulud		Kokkuhoid	
Soojuspumpade elektrienergia tarve perioodi jooksul	137 518,90 €	Kanalisatsiooni suunatava veekoguse vähendamine	96 868,44 €
Maagaasiga tarbevee soojendamise kulu suurenemine	29 059,51 €	Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev vee erikasutustasu	7595,20 €
Suurenenud maagaasi tarbimisest tulenev CO <sub>2</sub> -heite tasu suurenemine	324 €	Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev sukelpumba elektrienergia kulu	3198,66 €
		Soojuspumba töö käigus eraldunud soojusenergia müük kaugküttevõrgu ettevõttele	137 518,49 €
<b>Kokku kulud</b>	<b>166 902,41 € + käibemaks</b>	<b>Kokkuhoid kokku</b>	<b>245 180,79 € + käibemaks</b>

#### 3.4.4. Heitsoojuse osaline kasutamine ettevõtte tarbeks

Kolmas võimalik lahendus soojuspumpadega jahutusvee jahutamisel eralduva heitsoojuse kasutamiseks on seda kasutada ainult ettevõtte enda tarbeks, kattes aga osaliselt küttesüsteemi soojusenergia vajaduse kütteperioodil ning kogu soojusenergia vajaduse tarbevee soojendamisel. Võrreldes eelpool kirjeldatud kahe lahendusega, kus eesmärk oli jahutada kogu päevane vajalik jahutusvee kogus, keskendub see lahendus ainult ettevõtte soojusenergia vajaduse osalisele katmisele, mitte jahutusvee jahutamisele.

Vaadeldaval perioodil 1. märtsist 2018 kuni 28. veebruarini 2019 suunati kogu autoklaave jahutuseks läbinud 89 693 m<sup>3</sup> veest otse kanalisatsiooni 64 852 m<sup>3</sup> ning taaskasutati 24 693 m<sup>3</sup> jahutusvett. Arvestamata juuli ja augustikuu tootmise protsesside suurenenud mahtusid, suunati igas kuus kanalisatsiooni heitsoojusega jahutusvett keskmiselt 4877 m<sup>3</sup> ning päevas keskmiselt 270 m<sup>3</sup>. Kanalisatsiooni suunatud heitsoojusega jahutusvee keskmine temperatuur on 31 °C ning igal tööpäeval on selle jahutusvee kogusega kanalisatsiooni lahkuv soojusenergia kogus on leitav valemiga (1.1):

$$Q = 270\,000 \cdot 4190 \cdot (31 - 7) = 27151200000 \text{ J} \sim 27,2 \text{ GJ}$$

Kasutades seni kanalisatsiooni suunatavat ja kasutust mitteleidvat jahutusvett soojuspumpade tööks, võimaldaks see katta igapäevase vajaliku soojusenergia koguse tarbevee soojendamisel ning ülejääva soojusenergia saab vajadusel suunata hoone üldisesse küttesüsteemi soojusenergia kadude katteks. Allpool kirjeldatav lahendus eeldab, et säilib juba välja ehitatud ja töötav jahutusvee taaskasutamise süsteem, kus heitsoojust sisaldavast jahutusveest osa kasutatakse sooja tarbeveena ning osa tootmise protsessiveena.

Valides soojuspumba lahenduse, kus peamine rõhuasetus on tarbevee soojendamisel, tuleb lähtuda lähteandmetest: kui suur on võimalik kasutatav heitsoojust sisaldav jahutusvee kogus ning vaadata sooja tarbevee kasutamist tunnipõhiselt. Võimalik keskmine päevane (16 h jooksul jahutuseks kasutatud ning seni kanalisatsiooni suunatud) heitsoojust sisaldav jahutusvee kogus, mida saab kasutada soojuspumbaga kõrgema temperatuuriga vee soojendamiseks, on 270 m<sup>3</sup>. Suurim mõõdetud sooja tarbevee kulu tunnis on olnud 13 m<sup>3</sup>, minimaalne kulu tunnis on olnud 0,77 m<sup>3</sup>, ning keskmine sooja tarbevee kulu tunnis on 3 m<sup>3</sup>.



Soojusenergia kogus  $3 \text{ m}^3$  vee, mille algtemperatuur on  $31^\circ\text{C}$  soojendamiseks lõpptemperatuurini  $55^\circ\text{C}$  on leitav valemiga (1.1):

$$Q = 3000 \cdot 4190 \cdot (55 - 31) = 301680000 \text{ J} \sim 0,3 \text{ GJ}$$

Sooja tarbevee vajadus tööpäeva jooksul on 16 h, seega peab valitav soojuspump suutma andma vähemalt 0,3 GJ soojusenergiat tunnis, soovitavalt isegi rohkem, kuna tunnis tarbitavad veekogused on tihti  $5 \text{ m}^3$  ja enam. Seega võtab töö autor aluseks sooja tarbevee keskmise tunnitarbimise näitaja  $5 \text{ m}^3$  ning näeb ette suuremate sooja tarbevee koguste korral puudu jääva soojusenergia katmise mõne muu soojusenergia allikaga, näiteks auruga.

Seega valemiga (1.1) arvutatud soojuspumba poolt eralduv vajalik soojushulk tunnis on:

$$Q = 5000 \cdot 4190 \cdot (55 - 31) = 502800000 \text{ J} \sim 0,5 \text{ GJ}$$

Soojuspumba tööd saab vajadusel juhtida soojuspumba kondensaatorisse (kõrgema temperatuur) siseneva vee temperatuuri järgi, ehk kui hoone küttesüsteemi soojusenergia vajadus langeb (puudub küttevajadus või tarbevee soojendamise vajadus on madal), siis tõuseb kondensaatorisse tagastuva vee temperatuur. Vastavalt temperatuurianduriga mõõdetavatele temperatuuri andmetele suudab soojuspumba automaatika langetada sagedusmuunduriga juhitavate kompressorite pöörlemiskiiruseid ning seeläbi väheneb soojuspumba töö käigus vabanev soojusenergia hulk. Soojuspumba töö käigus saadava madalamatemperatuurilist vett saab taaskasutada autoklaavide jahutamiseks.

Sobilik soojuspump on P150 seeriast, mille tehnilised andmed on:

- jahutusvõimsus vastavalt normile EN 12900 108 kW;
- elektriline võimsus 77,2 kW;
- soojusvõimsus 184 kW;
- COP jahutamisel 1,4;
- COP kütmisel 2,38;
- soojusenergia allikas: vesi;
- aurustisse sisenev temperatuur  $31^\circ\text{C}$ ;
- aurustist väljuv temperatuur  $7^\circ\text{C}$ ;
- aurusti poole vooluhulk  $1,1 \text{ kg/s}$ ;
- kondensaatori poole soojusenergia kandja: vesi;
- kondensaatorisse sisenev küttevee temperatuur  $60^\circ\text{C}$ ;

- kondensaatorist väljuv küttevee temperatuur 80 °C;
- kondensaatori poolne vooluhulk 2,2 kg/s.

#### Kulud:

- soojuspumba elektrienergia tarve 77,2 kW, orienteeruv tööaeg võimsusel 100% kokku 147 päeva ehk kogu küttehooaja vältel oktoobri algusest kuni aprilli lõpuni saab soojuspump töötada 24 h ööpäevas. Seda võimaldab hoonete suur soojusenergia vajadus ning kuna soojuspumbaga saadav soojusenergia kogus on 0,66 GJ, siis selle kasutamine küttesüsteemis ei ole probleem. Soojuspumba töötundide arv aastas on 3528 h ning tarbitav elektrienergia kogus selles perioodis 272,4 MW·h. Perioodi mais kuni septembrini jääb sõltuvalt aastast tööpäevi 87, millal ainus väljund soojuspumba töö käigus eralduvale soojusenergiale on tarbevee soojendamine 24 K võrra. Vajalik sooja tarbevee kogus tunnis küünib 5 m<sup>3</sup> ja enam, tarbimise aeg tööpäeviti 19 h. Kuna sooja tarbevee tarbimine on ebaühtlane, siis arvestan pumba koormuseks kütteperioodi välisel ajal 50%. See tähendab 87 päeva jooksul töötunde kokku 1044 h ning elektrienergia tarvet 80,6 MW·h. 1 MW·h elektrienergia maksumus koos võrgutasuga on 103,1 € + käibemaks. Kulutused elektrienergiale perioodi jooksul on 36 394,30 € + käibemaks 20%.

Kokku kulud 36 394,30 € + käibemaks.

#### Kokkuhoid:

- soojuspumba töö käigus kasutatakse 31 °C heitsoojusenergiaga jahutusvett kogu pumba töötundide vältel, mida on kokku 4572 h, 18 105 m<sup>3</sup> (aurusti poole vooluhulk 0,0001 m<sup>3</sup>/s on toodud soojuspumba tehnilistes andmetes). Selle vee saab tagasi suunata jahutamise protsessi ning seega väheneb kanalisatsiooni suunatava jahutusvee kogus samuti 18 105 m<sup>3</sup>. Vee kanaliseerimise maksumus 1,080 € + käibemaks, kokkuhoid aastas 19 553,40 € + käibemaks;
- vee erikasutustasu on 1000 m<sup>3</sup> eest on 84,68 €. Kokkuhoid aastas 1655,78 €;
- puurkaevu sukelpump kasutab 1 m<sup>3</sup> põhjavee pumpamiseks elektrienergiat 0,3459 kW·h, seega väheneb elektrienergia kasutus 5965 kW·h võrra. Kokkuhoid vähenenud elektrienergia tarbelt on 614,99 € + käibemaks + 20%;

- kütteperioodil, kui soojuspump töötab 24 h tööpäeviti, on soojusenergia toodang kokku 2329 GJ. Valemiga (1.2) saab arvutada maagaasi kulu sellise soojushulga saamiseks:

$$V_m = \frac{646944}{9,16} = 70\,627\,m^3$$

See väheneb maagaasi kulu 70 627 m<sup>3</sup>, 1 m<sup>3</sup> maagaasi maksumus on 0,33065 € + käibemaks, kokkuhoid maagaasi kulu vähenemiselt 23 352,84 € + käibemaks. Mitte kütteperioodil väheneb maagaasi kulu 20 971,2 m<sup>3</sup>, mille maksumuseks on 6934,12 € + käibemaks. Kokkuhoid maagaasi kulu vähenemiselt on kokku 30 286,96 € + käibemaks;

- CO<sub>2</sub>-heide väheneb 169,5 tonni, mis annab heitetasudes kokkuhoiu 393 €.

Kokkuhoid kokku 52 504,13 € + käibemaks.

Kokkuvõtvad andmed lahenduste kohta, kus soojuspumbaga kasutatakse osaliselt heitsoojust, on toodud tabelis 3.6.

**Tabel 3.6.** Lahenduse, kus soojuspumbaga kasutatakse heitsoojusenergiat osaliselt, arvutuste kokkuvõte

Kulud		Kokkuhoid	
Soojuspumpade elektrienergia tarve perioodi jooksul	36 394,30 €	Kanaliseerimise suunatava veekoguse vähendamine	19 553,40 €
		Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev vee erikasutustasu	1655,78 €
		Põhjavee kasutamise vähenemisest vähenev sukelpumba elektrienergia kulu	614,99 €
		Soojuspumba töö käigus eraldunud soojusenergia arvelt vähenev maagaasi kulu	30 286,96 €
		CO <sub>2</sub> -heide vähenemiselt kokkuhoid CO <sub>2</sub> -heide tasult	393 €
<b>Kokku kulud</b>	<b>36 394,30 € + käibemaks</b>	<b>Kokkuhoid kokku</b>	<b>52 504,13 € + käibemaks</b>

## KOKKUVÕTE

Tööstusettevõtetes, kus kasutatakse tootmisprotsessides kuumtöötluste osana autoklaave, on mõistlik mõelda ning otsida lahendusi autoklaavide jahutusprotsessi käigus vabanevale soojusenergia kasutamisele. Kas selleks on soojuspump või mõni muu lahendus, nagu küttesüsteemi vee eelsoojendamine, sissepuhke õhu eelsoojendamine, ei olegi nii oluline. Kõige tähtsam on teadvustada, et tänapäeval üha suurenevate energiahindade ning aina karmistuvate keskkonnanõuete tõttu on heitsoojuse kasutuselevõtt üks lahendus, kus on võimalik saavutada märkimisväärset kokkuhoidu erinevate energiaressursside kasutamisel. Samuti ei tohi alahinnata heitsoojus- ja heitjahutusenergia eraldumist teiste erinevate tootmisprotsesside käigus, mida antud töös ei käsitletud, kuid mille käigus eralduvad energiakogused on samuti olulised ning nõuavad tähelepanu.

Uuritavas ettevõttes annaks seni kanalisatsiooni suunatud heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil märkimisväärse kokkuhoiu. Põhjavee kasutamine väheneks aastas ligikaudu 90 000 m<sup>3</sup> võrra. Võrdluseks pumbatakse Tartu Veevärgi teeninduspiirkonna puurkaevudest ühes ööpäevas välja 12 500 – 13 500 m<sup>3</sup> vett – kokkuhoitud 90 000 m<sup>3</sup> veega saaks katta Tartu Veevärgi klientide veevajaduse peaaegu 7 päeva jooksul [28]. Soojusenergia saamiseks vajaliku maagaasi kasutamine väheneks ligikaudu 220 000 m<sup>3</sup> võrra. Maagaasi vähenenud tarbimisega väheneb aastane CO<sub>2</sub>-heide üle 400 t võrra.

Kolmest erinevast käsitletud lahendusest, kus saab rakendada soojuspumpa heitsoojusenergia kasutamiseks, on autori arvates kõige õigem lahendus, kus soojuspumba töö käigus eralduv soojusenergia kasutatakse ettevõtte enese soojusenergia vajaduste katmiseks ning soojuspumbaga jahutamise tulemusena saadav külm vesi suunatakse tagasi autoklaavide jahutamiseks. Hinnanguliselt annab heitsoojuse kasutuselevõtt aastas rahalise kokkuhoiu enam kui 70 000 € + käibemaks. Selle valiku tingib süsteemi maksumuse madalam hind võrreldes lahendusega, kus soojusenergia müüakse kaugküttevõrku. Samuti ei sõltuta sellise lahenduse korral kolmandast osapooltest.

Eesti Vabariigi Valitsuse poolt on 20.10.2017. a heaks kiidetud korraldusega Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030, lühidalt ENMAK 2030, milles võetakse kokku

elektri-, soojus- ja kütusemajanduse, transpordisektori energiakasutuse ja elamumajanduse energiakasutusega seonduvad tulevikutegevused. Arengukavaga kirjeldatakse Eesti energiapoliitika eesmärgi aastani 2030, seatakse mitmeid eesmärgi ning meetmeid nende saavutamiseks.

Peatükis 3., Valdkondade areng, alapeatükis 3.3.1. Eesti soojusmajanduse arenguvisioon aastani 2050 on muuhulgas kirjeldatud heitsoojuse kasutuselevõttu.

*Tööstuses, sh. energiatööstuses, andmeladudes, jms. tekkiva jääksoojuse ärakasutamiseks primaarenergia säästu eesmärgil on kasutusele võetud soojuse akumulereerimistehtnoloogiad, mis võimaldavad soojuse kasutamist kaugküttevõrkude soojusvarustuse katmiseks ja/või lokaalsete tarbijate soojusvajaduse katmiseks. [29]*

Samuti sisaldab ENAK 2030 suunist suurendamaks tööstuse jääksoojuse ning kaevandusvete maasoojuse kasutamise suurendamist kaugküttes. [29]

Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing (EJKÜ) on välja töötanud märgise “Tõhus kaugküte”, mis tõendab ja tunnustab kaugküttesüsteemi tõhusust ehk taastuenergia ja koostoodetud soojuse enamust kaugküttesüsteemis. [30]

*„Märgisega “Tõhus kaugküte” tunnustatud kaugküttevõrk vastab EL energiatõhususe direktiivis 2012/27/EL sätestatud tingimustele: “Tõhus kaugküte ja –jahutus – kaugküttevõrki kaugjahutussüsteem, milles soojuse tootmiseks kasutatakse vähemalt 50% taastuenergiat või 50% heitsoojust või 75% koostoodetud soojust või 50% sellise energia ja soojuse kombinatsiooni.” ” [30]*

Nii palju, kui käesoleva magistritöö autor külastas „Tõhusa kaugkütte“ märgise saanud kaugküttesüsteemide Internetis kätte saadavaid kodulehekülgi, ei õnnestunud ühelki leheküljelt leida konkreetset viidet, et mõni kaugküttesüsteem kasutaks oma kaugküttevõrgus soojuse saamiseks heitsoojusenergiat, ehk Eestis on tööstuses erinevate protsesside käigus eralduva heitsoojuse kasutamisel näiteks kaugküttevõrkudes palju arenguruumi.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Riigikogu otsus. Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. [veebileht]  
[https://www.envir.ee/sites/default/files/362xiii\\_rk\\_o\\_04.2017-1.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/362xiii_rk_o_04.2017-1.pdf) (15.05.2019).
2. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv (el) 2018/2001. [veebileht]  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>  
(11.02.2019).
3. Euroopa Komisjon, “ Komisjoni teatis euroopa parlamendile, nõukogule, Euroopa majandus- ja sotsiaalkomiteele ning regioonide komiteele.” ELi kütte- ja jahutusstrateegia. [veebileht]  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0051&rid=2>  
(11.02.2019).
4. Põltsamaa Ametikool, Endla Joosu loengu materjal „Toiduainete riknemine“, 2008. [veebileht]  
<http://endla.joosu.ee/index.php?id=1.4> (14.02.2019).
5. Eesti Keele Instituudi seletava sõnaraamatu seletus sõnale „autoklaav“. [veebileht]  
<https://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=autoklaav&F=M> (03.05.2019).
6. Keskkonnainvesteeringute Keskus, rahastatud projektid. [veebileht]  
<https://kik.ee/et/projekt/salvest-energia-ja-ressursiauditi-labi-viimine> (23.02.2019).
7. Vikipeedia seletus sõnaühendile SCADA. [veebileht]  
<https://et.wikipedia.org/wiki/SCADA> (15.05.2019).
8. **Visk, U.** (2008) „Ettevalmistus füüsikaolümpiaadiks“, 2008. [veebileht]  
[https://www.teaduskool.ut.ee/sites/default/files/teaduskool/oppetoo/fys\\_soojus.pdf](https://www.teaduskool.ut.ee/sites/default/files/teaduskool/oppetoo/fys_soojus.pdf)  
(4.03.2019).
9. Eesti Maaülikool, Toidupatogeenide ja toidumikrobioloogia algkursus, õppeaine: VL.1168 Toidu- ja tootmishügieen. [veebileht]  
<http://toidumikrobioloogiaalgkursus.weebly.com/temperatuur.html> (08.03.2019).
10. UV seadmete tootja Trojan UV seletus UV kiirguse töö põhimõtte kohta. [veebileht]  
<https://www.resources.trojanuv.com/multi-barrier-disinfection/> (08.03.2019)
11. Gaasikoguste energiaühikutesse teisendamise meetoodika. (Vastu võetud 01.02.2013 nr 8, viimati jõustunud 10.07.2017). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/130062017002> (08.03.2019).
12. Maagaasi tootekirjeldus, Eesti Gaas AS. [veebileht]  
<https://www.gaas.ee/maagaasi-tootekirjeldus/> (08.03.2019).

13. Soojuse müügi ajutise hinna kehtestamise kord. (Vastu võetud Vastu võetud 22.06.2011 nr 51, viimati jõustunud 04.07.2011). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/101072011020> (08.03.2019).
14. Välisõhku väljutatava süsinikdioksiidi heite arvutusliku määramise meetodid. (Vastu võetud 27.12.2016 nr 86, viimati jõustunud 01.01.2017). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/129122016063> (08.03.2019).
15. Haridusportaal edu.ee lehelt õppematerjal. [veebileht]  
[http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope\\_RDPR\\_5.kursus/2011\\_2012\\_oa\\_oppematerjalid/Soojusgeneraatorid%20\(vene\)/Soojusgeneraatorid%20\(eesti\)/Loeng%203-7%20Kyttegaasid.pdf](http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope_RDPR_5.kursus/2011_2012_oa_oppematerjalid/Soojusgeneraatorid%20(vene)/Soojusgeneraatorid%20(eesti)/Loeng%203-7%20Kyttegaasid.pdf) (08.03.2019).
16. Tartu Veevärk AS, Veevarustuse ja heitvee ärajuhtimise hinnakiri. [veebileht]  
<https://tartuvesi.ee/veevarustuse-ja-heitvee-arajuhtimise-hinnakiri-1102014> (09.03.2019).
17. Keskkonnatasude seadus. (Vastu võetud 07.12.2005, viimati jõustunud 15.03.2019). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/122122018005?leiaKehtiv> (16.03.2019).
18. Keskkonnatasude seadus. (Vastu võetud 07.12.2005, viimati jõustunud 15.03.2019). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/114032011039?leiaKehtiv> (16.03.2019)
19. **Meier, T.** (2016). AS Nõo Lihetööstuse jahutusseadmete heitsoojuse kasutus. *Eesti Maaülikooli raamatukogu*.  
<https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/2952> (16.03.2019).
20. **Voolmaa, M.** (2017). Kolmandik soojaarvest lastakse kanalisatsiooni. Soojus tuleb heitveest kinni püüda ja see tasub end üsna kiiresti ära. [e-ajakiri]  
<https://moodnekode.delfi.ee/news/ehitus/kolmandik-soojaarvest-lastakse-kanalisatsiooni-soojus-tuleb-heitveest-kinni-puuda-ja-see-tasub-end-usna-kiiresti-ara?id=79779334> (17.03.2019).
21. **Paist, A., Poobus, P.** (2009). Soojusgeneraatorid. Tallinn: TTÜ. 148 lk.
22. De Kleijn Energy Consultants & Engineers kodulehekülg tööstuslikest soojuspumpadest. [veebileht]  
<http://industrialheatpumps.nl/server/multimediaserve/239> (18.03.2019).
23. De Kleijn Energy Consultants & Engineers kodulehekülg tööstuslikest soojuspumpadest.  
<http://industrialheatpumps.nl/en/> (18.03.2019).
24. De Kleijn Energy Consultants & Engineers kodulehekülg tööstuslikest soojuspumpadest.  
<http://industrialheatpumps.nl/en/> (18.03.2019).
25. Riigi Ilmateenistus, vaatlusandmed. [veebileht]  
<https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/> (22.03.2019).

26. Regmas OÜ kodulehekül, 2018. ja 2019. aasta kalendaarne tööajafond. [veebileht]  
<http://regmas.ee/2019-aasta-kalendaarne-tooajafond/> (22.03.2019).
27. Fotrum Tartu kaugkütte hind. [veebileht]  
<https://www.fortumtartu.ee/kliendile/toodete-ja-teenuste-hinnad/> (22.03.2019).
28. Vee pumpamine põhjavee kihtidest, Tartu Veevärk kodulehekül. [veebileht]  
<https://www.tartuvesi.ee/kuidas-jouab-vesi-tarbijani> (22.05.19).
29. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi kodulehekül. [veebileht]  
[https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf) (02.05.2019).
30. Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing, Tõus kaugküte. [veebileht]  
<https://epha.ee/tohus-kaugkute/> (22.05.2019).



**LISAD**

## Lisa 1. Soojuspumba P150 tehnilised andmed.

### PERFORMANCE (±5 % ACCURACY)

#### Type

Heat pumps	3
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	485 kW
Power consumption	257 kW
Heating capacity	736 kW
COP	2.86

#### Heat source (evaporator)

Type of coolant	water
Coolant inlet	31.0 °C
Coolant outlet	7.0 °C
Coolant flow rate	4.9 l/s
Pressure loss in heat exchanger	47 kPa

#### Heat sink

Type of heating medium	water
Heating medium inlet	60.0 °C
Heating medium outlet	80.0 °C
Flow rate heating medium	9.1 l/s
Pressure loss in heat exchanger	201 kPa

%HP\_FLOW\_CHART%

## Lisa 1. järg

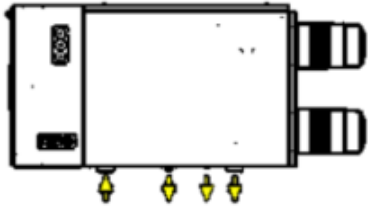
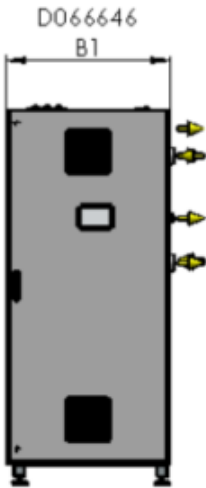
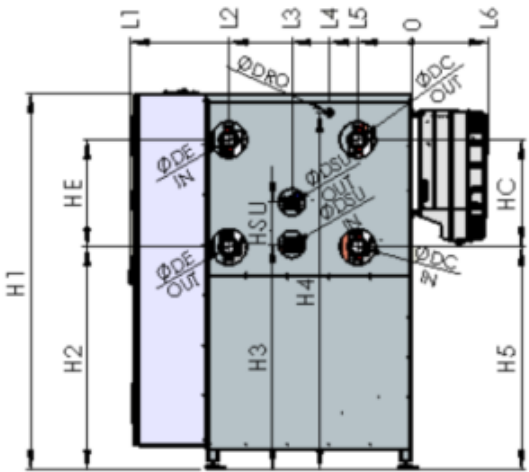
### P150 SU MC VFDX2

#### UNIT

Type	P150 SU MC VFDx2
Item number	CHP15001MV2
Compressors	2 piston compressors
Refrigerant (amount)	R134a (circa 21.0 kg)
Description	Heat pump with AISI 304/316 brazed plate heat exchangers. Compact and completely factory packaged unit, ready for connection on site, dismantled for transportation.
Capacity control	100 % - 25 %
Design pressure evaporator (liquid side)	45 bar
Design pressure condenser (liquid side)	45 bar
Amount of liquid connections	6
A weighted sound power level	-

DIMENSIONS

L1	1571 mm
L2	999 mm
L3	668 mm
L4	457 mm
L5	301 mm
L6	425 mm
H1	2091 mm
H2	1228 mm
H3	1253 mm
H4	1987 mm
H5	1239 mm
HE	450 mm
HSU	234 mm
HC	597 mm
B1	911 mm
DE	DN80 VICTAULIC (Evaporator inlet/outlet connection)
DSU	DN40VICTAULIC (Subcooler inlet/outlet connection)
DRO	35 mm (Safety relief valve blow-out connection)
DC	DN80 VICTAULIC (Condenser inlet/outlet connection)
Weight	1600 kg



Tolerances ISO 2768-c,  
except L2, L3, L4, L5,  
H2, H3, H4 and H5 are  $\pm 5$

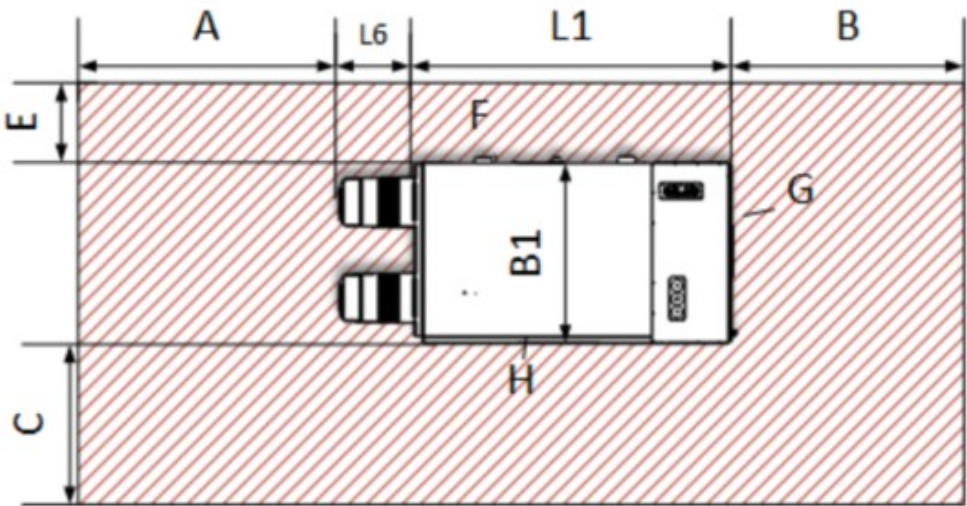
ENCLOSURE FINISHING

Painting  
Color

Powder coating  
RAL 9006

RECOMMENDED SERVICE SPACE

A	800 mm
B	800 mm
C	800 mm
E	400 mm
L1	1571 mm
L6	425 mm
B1	911 mm
F	Process connections
G	Power panel
H	Service doors



## Lisa 1. järg

### ELECTRICAL DETAILS

Voltage	400 V - 3 - 50 Hz (other options available upon request)
Degree of protection	IP 54
Power supply fuse	3 x 200 A (3 x 250 A if VFD)
Switch on mode	VFD
Type of power supply, delivered loose	Power panel with IP 54 protection including features, such as suitability for a TN-earthing system, main switch, emergency switch, contactors for oil heater, thermal over current release and safety fuses, power fuses, control transformer with double control safety, primary and secondary
Cable entry point	At the top
Current at design point	136 A
Starting current at design point	136 A
Maximum operating current	216 A
Maximum starting current	216 A

## CHILLHEAT STANDARD AUTOMATION

Capabilities of the ChillHeat standard automation. The connectivity for the devices listed below is included in the standard automation, but the devices themselves are not. Confirm pricing with Oilon.

Pre-configured inputs

STOP

SETPOINT

TE00

L1-L2-L3/kWh

FIR11/FIR21

Pre-configured outputs

READY

RUN

ALARM

P11-RUN

P11-SPEED

P21-RUN

P21-SPEED

Additional I/O

4 x AI

1 x AO

2 x DO

Check the signal types from the diagram

Stop signal for the heat pump

Heating/cooling setpoint signal for the heat pump

Ambient temperature sensor

Measurement for consumed electricity

Measurement for produced heating and cooling power

Check the signal types from the diagram

Ready-to-run signal

Run signal

Active alarm signal

Evaporator circulation pump on/off signal

Evaporator circulation pump speed control

Condenser circulation pump on/off signal

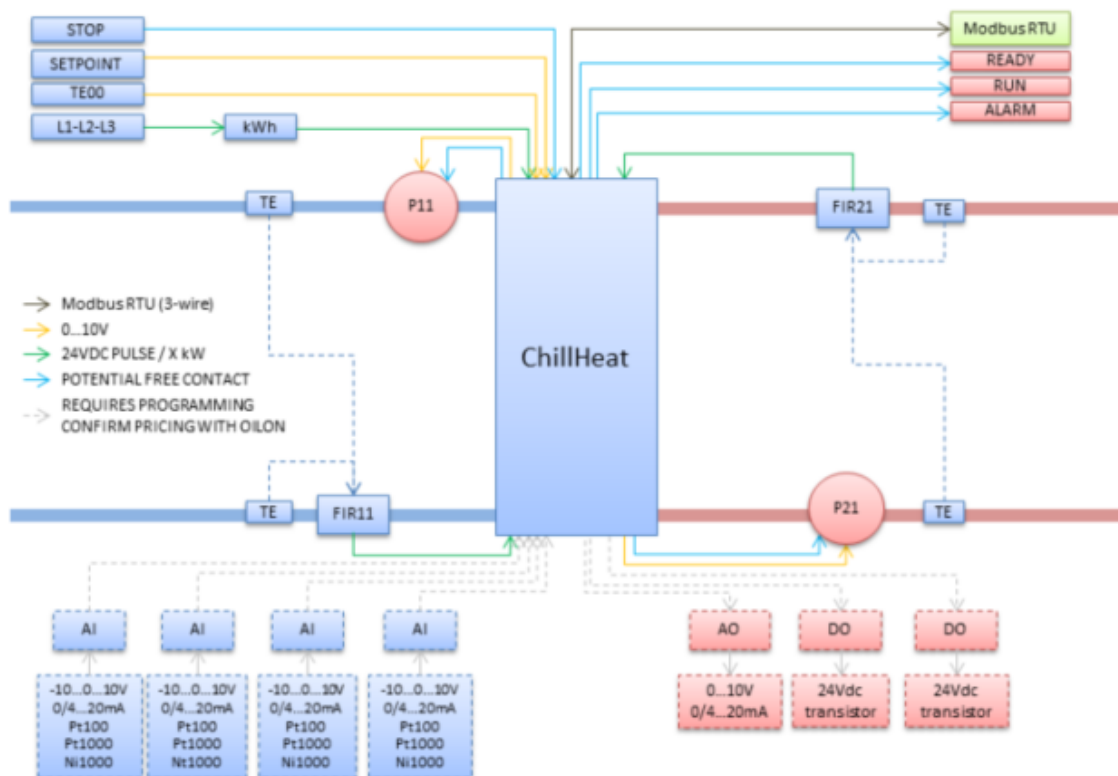
Condenser circulation pump speed control

Available I/O for customer connections. Pricing must be confirmed with Oilon.

-10 ... 0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA, Pt100, Pt1000, Ni1000

0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA

24 Vdc transistor (relay not installed)



Lisa 1. järg

CONTROL UNIT

All ChillHeat heat pumps can be controlled with a tablet or phone by using the MobileDrive app (available for Android only)



- Modern and user friendly Mobile Drive app unit
1. Rugged PLC control.
  2. Local and Remote control with wide range of communication possibilities.

Fixed control panel  
Size  
Customizable  
Item number  
Controller communication  
Display language

Industrial touch panel  
7"  
Yes  
37286066  
Modbus RTU (Profibus, profinet & bacnet available as an option)  
English, Finnish, Swedish, Chinese, Russian



SENSORS

Additional temperature sensors	None
Flow switch	Electronic flow switch on cooling side (to be installed by the customer)



## Lisa 1. järg

### SAFETY DEVICES

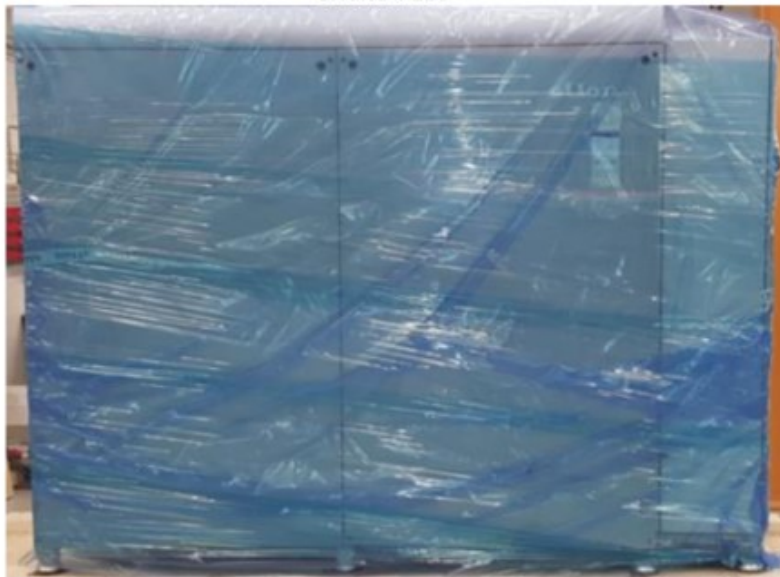
Type	Double safety valve with change over valve
Safety valve(s) acc. to PED	2 out of which 1 active

### APPROVAL AND DOCUMENTATION

Approval pressure equipment	Certificate of Conformity acc. to Pressure Equipment Directive (PED) 2014/68/EC modules A2 (P series) and B + C1 (RE and S series). Calculation and manufacturing acc. to EN 378.
Non-destructive testing	Non-destructive welding test acc. to EN 1445
Documentation consisting of	1 set in electronic format, 1 set on paper
Language of the documentation	English

### PACKAGING



Type	Plastic wrapping
Heat pump weight	1600 kg
Item number	CHWRAP150




### EXCLUSIONS

Exclusions from scope of supply	Balancing valve for the subcooler
---------------------------------	-----------------------------------

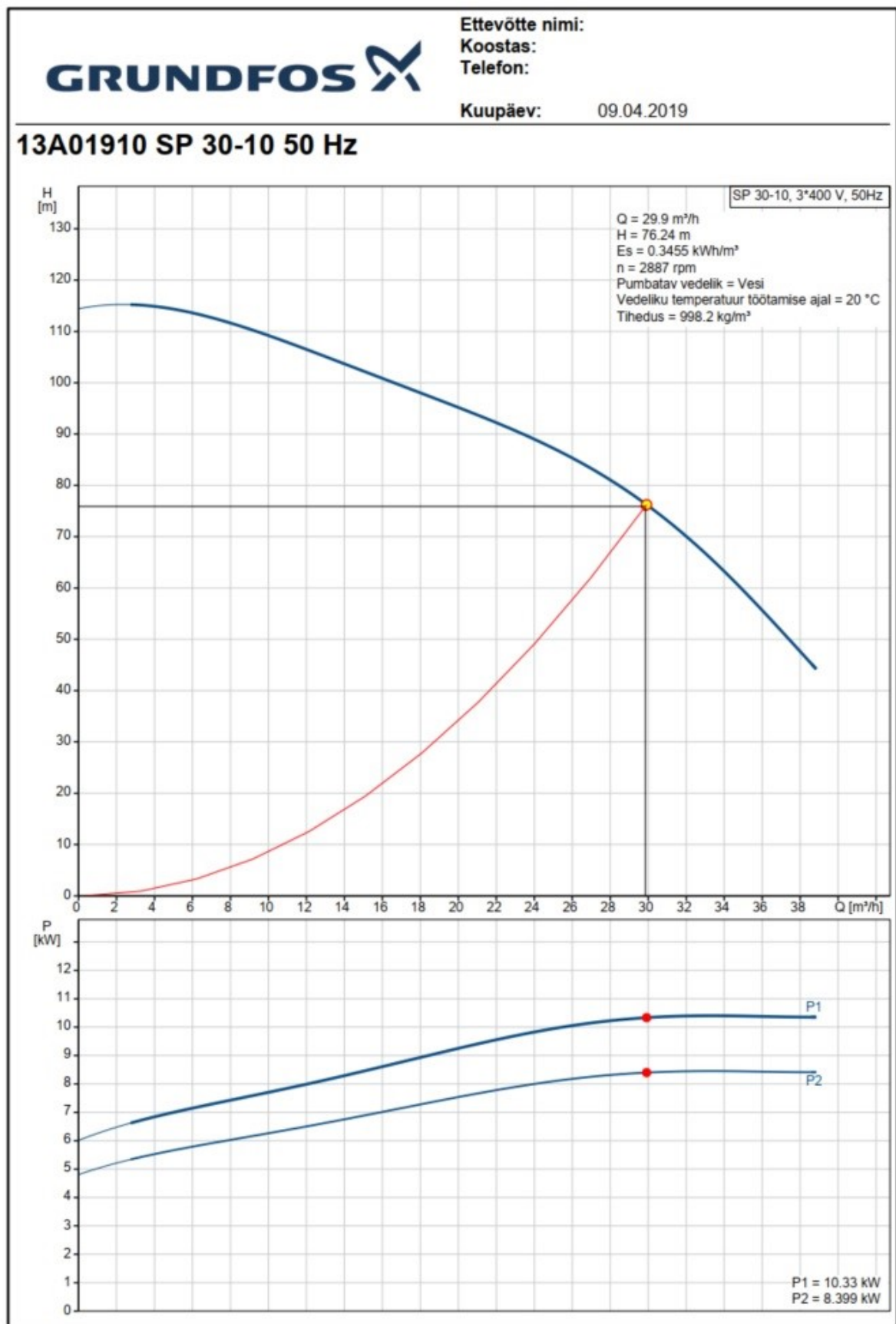
## Lisa 2. Sukelpumba SP 30-10 tehnilised andmed.

		Ettevõtte nimi: Koostas: Telefon: Kuupäev: 09.04.2019
Kogus	Kirjeldus	
1	<b>SP 30-10</b>  <p>Märkus! Reaalse toote väljanägemine võib erineda pildil kujutatust.</p> <p>Toote kood:: <a href="#">13A01910</a></p> <p>Multi-stage submersible pump for raw water supply, groundwater lowering and pressure boosting. The pump is suitable for pumping clean, thin, non-aggressive liquids without solid particles or fibres.</p> <p>The pump is made entirely of Roostevaba teras DIN W.-Nr. EN 1.4301.</p> <p>The motor is a 3-phase motor with sand shield, liquid-lubricated bearings and pressure equalizing diaphragm.</p> <p><b>Vedelik:</b>          Pumbatav vedelik: Vesi          Maks. vedeliku temperatuur: 40 °C          Maks. vedeliku temp. 0.15 m/s juures: 40 °C          Selected liquid temperature: 20 °C          Tihedus: 998.2 kg/m³</p> <p><b>Tehnilised:</b>          Pumba andmetel põhinev pumba kiirus: 2900 rpm          Jooksev arvutatud vooluhulk: 29.9 m³/h          Pumba lõppsurve: 76.24 m          Võllitihend mootorile: CER/CARNBR          Tunnustused sildikul: CE, GOST2          Karakt. tolerantsid: ISO9906:2012 3B          Motor version: T40</p> <p><b>Materjalid:</b>          Pump: Roostevaba teras          EN 1.4301          AISI 304          Tööratas: Roostevaba teras          EN 1.4301          AISI 304          Mootor: Roostevaba teras          DIN W.-Nr. 1.4301          AISI 304</p> <p><b>Paigaldamine:</b>          Pumba surveava: RP3          Mootori läbimõõt: 6 inch</p> <p><b>Elektriandmed:</b>          Mootori tüüp: MS6000</p>	

Lisa 2. järg.

		Ettevõtte nimi:
		Koostas:
		Telefon:
		Kuupäev: 09.04.2019
Kogus	Kirjeldus	
	Nimivõimsus - P2:	9.2 kW
	Pumba tarvilik võimsus (P2):	9.2 kW
	Vooluvõrgu sagedus:	50 Hz
	Nimipinge:	3 x 380-400-415 V
	Nimivool:	21.8-21.2-21.2 A
	Käivitusvool:	480-520-550 %
	Cos fii - võimsustegur:	0.84-0.82-0.78
	Nimikiirus:	2850-2870-2880 rpm
	Käivitusviis:	otsekäivitus
	Kaitseklass (IEC 34-5):	IP68
	Isolatsiooniklass (IEC 85):	F
	Sisseehit. temp.transmitter:	jah
	Mootori kood:	78195513
	<b>Muu:</b>	
	Minimum efficiency index, MEI $\hat{a}\%$ :	0.50
	ErP status:	EuP Standalone/Prod.
	Nettokaal:	68.9 kg
	Bruttokaal:	98.7 kg
	Tarnemaht:	0.232 m³
	Danish VVS No.:	388338100
	Country of origin:	DK
	Custom tariff no.:	84137029

Lisa 2. järg.



### Lisa 3. Kuivjahuti tehnilised andmed.

Date 15/5/2019  
For the attention of:  
Reference Dry-cooler  
Operator SILVER TIIDO



#### DRY COOLERS Type: XHL95F 6249 F H 8VENT (2X4)

Refriger (u) 2019 Ver. 2.2.0.340 - PRICE LIST 02/2019

Air inlet temperature	[°C]	22,0
Inlet fluid temperature	[°C]	45,0
Fluid flow	[m3/h]	41,8
Fluid pressure drop	[kPa]	80,4
Fluid		Propyl. 37%
Altitude	[m]	0
Version		Horizontal
<b>Power supply</b>	<b>400V-3PH-50Hz</b>	<b>EC FANS</b>
<b>Capacity</b>	<b>[kW]</b>	<b>845,69</b>
Air flow	[m3/h]	223 490,0
Outlet air temperature	[°C]	33,0
Outlet liquid temperature	[°C]	26,3
Energy efficiency class (2014 thresholds)		D
Power consumption	[W]	21 820
Motor consumption	[A]	31,5
Max absorbed current	[A]	36,8
Fan speed	[1/min]	1070
Sound level (at distance) 10 [m]	[dB(A)]	63
Sound Power Level	[dB(A)]	95
Fans :	[mm]	8 x 950
Poles	[n]	<b>EC FANS</b>
Volume	[dm3]	306,20
		Surface [m2] 1 946,6
		Weight [kg] 1 898
		Inlet Gas connections ["] 4
		Outlet Gas connections ["] 4
		Overall dimensions [mm] 9 292 x 2 834 x 1 600
<b>Coil operating maximal pressure</b>	<b>[bar]</b>	<b>10,0</b>
Casing material	Powder coated galvanized steel RAL 9003	Fin material Al
Headers material	Cu header, threaded Fe connection	Tube material Cu

\* Refer to LU-VE S.p.A. catalogues for details, presentation of data and standards. Noise level according to EN 13487. The current refers to nominal value. For max current see catalogues. Weight and dimensions are not valid for all possible configurations. All fans are ErP 2015-compliant (Directive 2009/125/EC Energy-related products). LU-VE S.p.A. reserves the right to modify and correct at any time, with or without notice, the specifications and prices listed in the Refriger software. **WARNING: the height of the unit could be increased if el. panel installed. Contact LU-VE S.p.A. for more information. Regulation not from LU-VE S.p.A. is not allowed.**

New EC fan. When setting the rpm take into consideration a tolerance of  $\pm 5\%$ . Self protected, suitable for regulation by signal 0-10 Vdc or BUS RS485.

#### SOUND POWER LEVEL

	Tot.	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
400V-3PH-50Hz [dB(A)]	86	62	65	70	79	84	76	70	63

Data refers to one fan. **IMPORTANT: the tolerance in any single octave band is +/-5dB. The tolerance in the overall dB(A) level is +/- 2dB as required by Eurovent Certification.**

#### Lisa 4. Soojuspumba P380 andmed.

##### PERFORMANCE (±5 % ACCURACY)

###### *Type*

Heat pumps	2
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	707 kW
Power consumption	402 kW
Heating capacity	1102 kW
COP	2.74

###### Heat source (evaporator)

Type of coolant	water
Coolant inlet	31.0 °C
Coolant outlet	7.0 °C
Coolant flow rate	7.2 l/s
Pressure loss in heat exchanger	4 kPa

###### Heat sink

Type of heating medium	water
Heating medium inlet	60.0 °C
Heating medium outlet	80.0 °C
Flow rate heating medium	13.6 l/s
Pressure loss in heat exchanger	76 kPa

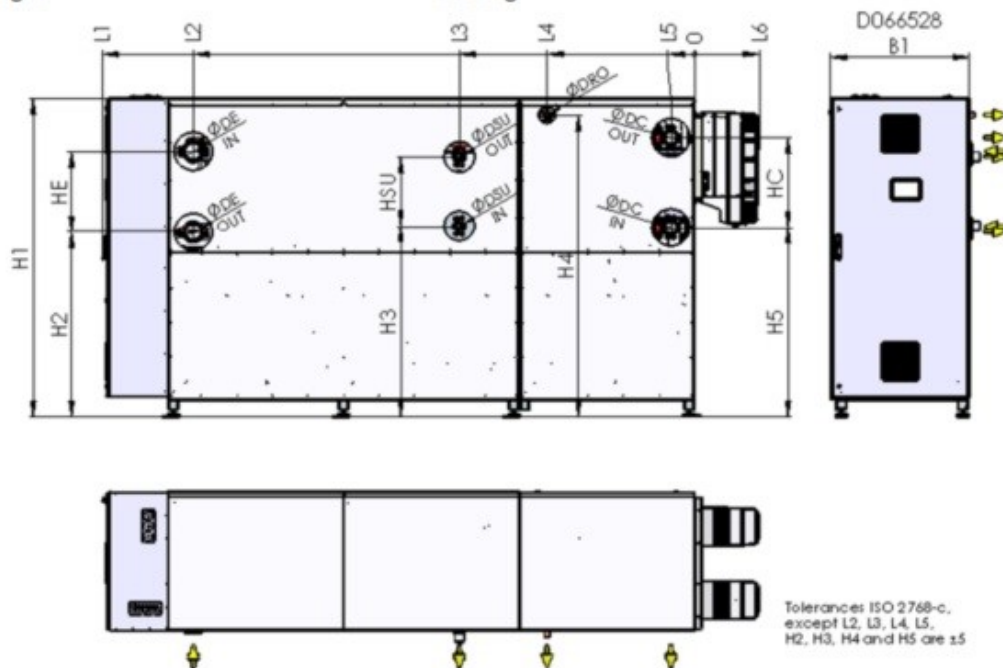
%HP\_FLOW\_CHART%



## Lisa 4. Järg.

### DIMENSIONS

L1	3866 mm
L2	3274 mm
L3	1537 mm
L4	964 mm
L5	155 mm
L6	604 mm
H1	2091 mm
H2	1213 mm
H3	1253 mm
H4	1982 mm
H5	1244 mm
HE	532 mm
HSU	456 mm
HC	590 mm
B1	911 mm
DE	DN100 VICTAULIC (Evaporator inlet/outlet connection)
DSU	DN50 VICTAULIC (Subcooler inlet/outlet connection)
DRO	35 mm (Safety relief valve blow-out connection)
DC	DN80 VICTAULIC (Condenser inlet/outlet connection)
Weight	3100 kg



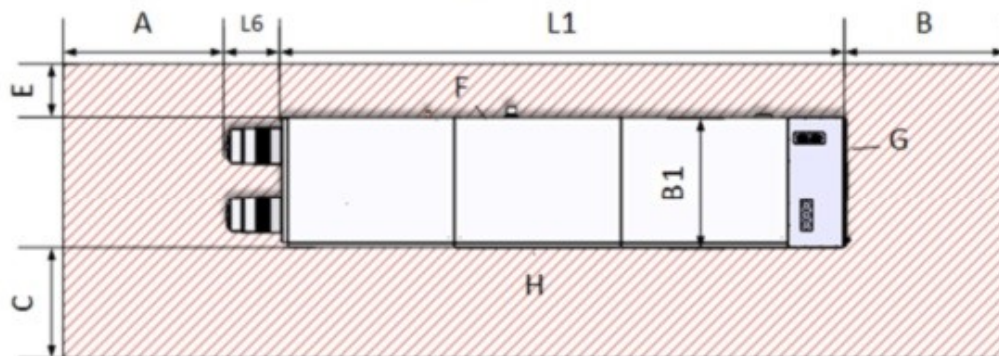
## ENCLOSURE FINISHING

Painting  
Color

Powder coating  
RAL 9006

## RECOMMENDED SERVICE SPACE

A	800 mm
B	800 mm
C	800 mm
E	400 mm
L1	3866 mm
L6	604 mm
B1	911 mm
F	Process connections
G	Power panel
H	Service doors



## ELECTRICAL DETAILS

Voltage	400 V - 3 - 50 Hz (other options available upon request)
Degree of protection	IP 54
Power supply fuse	3 x 500 A
Switch on mode	Partial Winding + VFD
Type of power supply, delivered loose	Power panel with IP 54 protection including features, such as suitability for a TN-earthing system, main switch, emergency switch, contactors for oil heater, thermal over current release and safety fuses, power fuses, control transformer with double control safety, primary and secondary
Cable entry point	At the top
Current at design point	333 A
Starting current at design point	447 A
Maximum operating current	521 A
Maximum starting current	699 A



Lisa 4. Järg.

CONTROL UNIT

All ChillHeat heat pumps can be controlled with a tablet or phone by using the MobileDrive app (available for Android only)



- Modern and user friendly Mobile Drive app unit
1. Rugged PLC control.
  2. Local and Remote control with wide range of communication possibilities.

Fixed control panel  
Size  
Customizable  
Item number  
Controller communication  
Display language

Industrial touch panel  
7"  
Yes  
37286066  
Modbus RTU (Profibus, profinet & bacnet available as an option)  
English, Finnish, Swedish, Chinese, Russian



SENSORS

Additional temperature sensors  
Flow switch  
None  
Electronic flow switch on cooling side (to be installed by the customer)

## CHILLHEAT STANDARD AUTOMATION

Capabilities of the ChillHeat standard automation. The connectivity for the devices listed below is included in the standard automation, but the devices themselves are not. Confirm pricing with Oilon.

Pre-configured inputs

STOP

SETPOINT

TE00

L1-L2-L3/kWh

FIR11/FIR21

Pre-configured outputs

READY

RUN

ALARM

P11-RUN

P11-SPEED

P21-RUN

P21-SPEED

Additional I/O

4 x AI

1 x AO

2 x DO

Check the signal types from the diagram

Stop signal for the heat pump

Heating/cooling setpoint signal for the heat pump

Ambient temperature sensor

Measurement for consumed electricity

Measurement for produced heating and cooling power

Check the signal types from the diagram

Ready-to-run signal

Run signal

Active alarm signal

Evaporator circulation pump on/off signal

Evaporator circulation pump speed control

Condenser circulation pump on/off signal

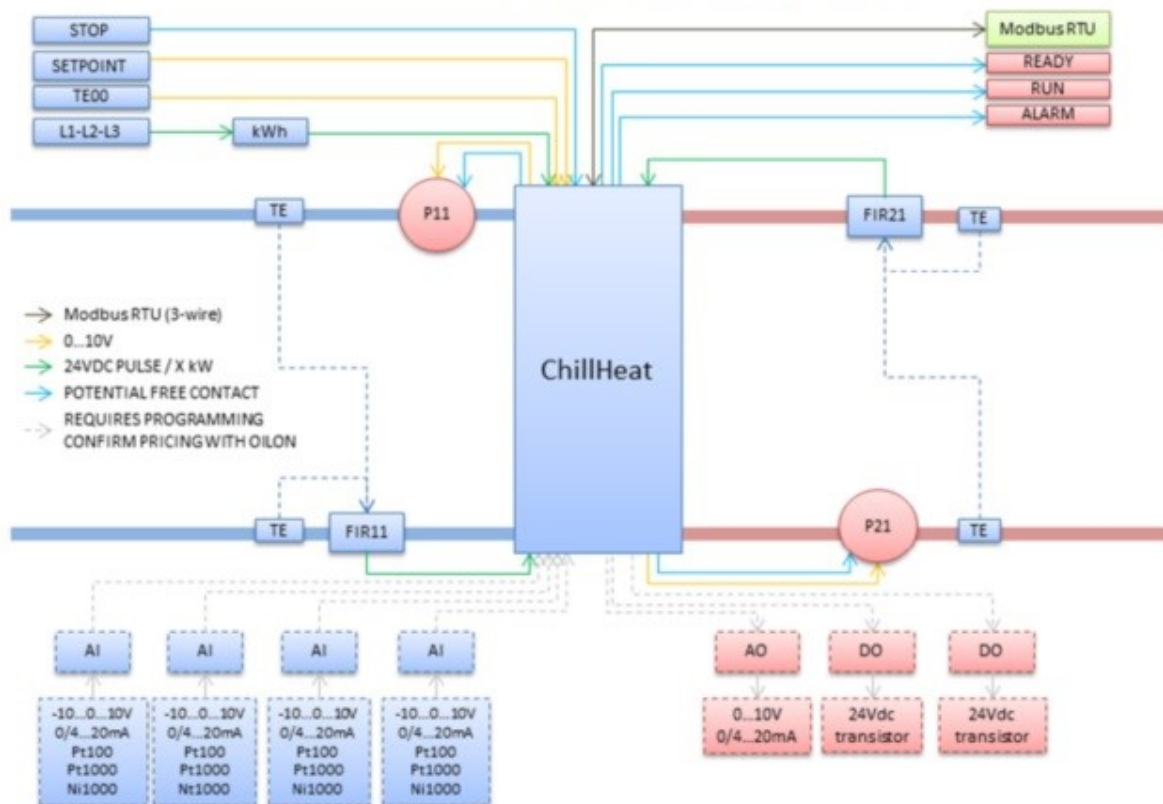
Condenser circulation pump speed control

Available I/O for customer connections. Pricing must be confirmed with Oilon.

-10 ... 0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA, Pt100, Pt1000, Ni1000

0 ... 10 V, 0/4 ... 20 mA

24 Vdc transistor (relay not installed)



**Lisa 4. Järg.**

## SAFETY DEVICES

Type	Double safety valve with change over valve
Safety valve(s) acc. to PED	4 out of which 2 active

## APPROVAL AND DOCUMENTATION

Approval pressure equipment	Certificate of Conformity acc. to Pressure Equipment Directive (PED) 2014/68/EC modules A2 (P series) and B + C1 (RE and S series). Calculation and manufacturing acc. to EN 378.
Non-destructive testing	Non-destructive welding test acc. to EN 1445
Documentation consisting of	1 set in electronic format, 1 set on paper
Language of the documentation	English

## PACKAGING

Type	Plastic wrapping
Heat pump weight	3100 kg
Item number	CHWRAP450



## EXCLUSIONS

Exclusions from scope of supply	Balancing valve for the subcooler
---------------------------------	-----------------------------------

**Lisa 5. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Andres Grigor, sünniaeg 3. juuni 1974,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

AUTOKLAAVIDE JAHUTUSPROTSESSI KÄIGUS VABANEVA HEITSOOJUSE KASUTAMISE VÕIMALUSED SOOJUSPUMBAGA

mille juhendaja(d) on Veli Palge,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, 3. juuni 2019

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

Veli Palge \_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)